



**DIÓGENES FÉLIX DA
SILVA COSTA**

**CARACTERIZAÇÃO ECOLÓGICA E SERVIÇOS
AMBIENTAIS PRESTADOS POR SALINAS
TROPICAIS**



Universidade de Aveiro
2013

**DIÓGENES FÉLIX DA
SILVA COSTA**

**CARACTERIZAÇÃO ECOLÓGICA E SERVIÇOS
AMBIENTAIS PRESTADOS POR SALINAS
TROPICAIS**

Tese apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Doutor em Biologia, realizada sob a orientação científica do Doutor Amadeu Mortágua Velho da Maia Soares, Professor Catedrático e da Doutora Ana I. Lillebø, Investigadora Auxiliar, do Departamento de Biologia da Universidade de Aveiro.

Apoio financeiro da CAPES no âmbito
do Programa Ciência sem Fronteiras
(Processo BEX. 5834/10-4).



Dedico este trabalho à minha família, especialmente a minha filha pelo incansável apoio.

o júri

presidente

Prof. Doutor António Carlos Mendes de Sousa

Professor Catedrático do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Amadeu Mortágua Velho da Maia Soares

Professor Catedrático do Departamento de Biologia da Universidade de Aveiro (**Orientador**)

Prof. Doutor Miguel Ângelo do Carmo Pardal

Professor Associado com Agregação do Departamento de Ciências da Vida, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

Prof. Doutor Fernando Manuel Raposo Morgado

Professor Associado com Agregação do Departamento de Biologia da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Renato de Medeiros Rocha

Professor Associado I do Departamento de Geografia, Centro de Ensino Superior do Seridó – Campus de Caicó, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte - Brasil

Prof. Doutor Ulisses Manuel de Miranda Azeiteiro

Professor Auxiliar com Agregação do Departamento de Ciências Exactas e Tecnológicas da Universidade Aberta – Porto

Doutora Ana Isabel Lillebø

Investigadora auxiliar do Departamento de Biologia & CESAM da Universidade de Aveiro (**Co-orientadora**).

agradecimentos

Ao Professor Amadeu Soares e a Doutora Ana Lillebø pela orientação dedicada e competente, mas também pela amizade e incentivo permanentes.

Ao Professor Renato de Medeiros Rocha (CERES/UFRN/Laboratório de Ecologia do Semiárido – LABESA), eterno mestre, professor e amigo para todas as horas. Em nome do prof. Renato, quero agradecer a todos os estagiários e pesquisadores do LABESA que me apoiaram nos momentos difíceis e também nos momentos felizes desta pesquisa.

Ao Professor José Etham de Lucena Barbosa (Universidade Estadual da Paraíba – Campus de Campina Grande), por aceitar ser meu tutor enquanto bolsista da CAPES no exterior e por ceder as instalações do Laboratório de Ecologia Aquática para a realização das análises de água.

A CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Ensino Superior do Brasil), pela concessão da bolsa de pesquisa doutoral no exterior no âmbito do Programa Ciência sem Fronteiras (Processo BEX. 5834/10-4).

A EMPARN (Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte), por por ceder as instalações do Laboratório de Pesquisa de Solos para a realização das análises de sedimento.

A minha família, em especial aos meus pais, Luiz e Bernadete, minha irmã Conceição e minha filha Sofia. Em nome deles agradeço a cada familiar que sempre me apoiou ao longo da vida.

A todos os meus amigos, em especial aos companheiros de jornada. Tenham certeza que em para cada página escrita o apoio de cada um foi fundamental.

palavras-chave

zonas úmidas, ecologia, geografia, hidrogeoquímica, valorização, produção de sal.

resumo

O presente trabalho aborda aspectos da Ecologia e serviços ambientais prestados pelas salinas solares tropicais. Estes importantes ecossistemas artificiais adquirem uma relevância ecológica, económica e cultural nestas zonas do globo por se manterem produtivos durante todo o ano. O estudo foi realizado em 02 salinas da região Nordeste do Brasil, no Estado do Rio Grande do Norte, produtor de 97% o sal marinho nacional. Nestas salinas, verificou-se que existe uma lacuna de conhecimento acerca do histórico de exploração no Brasil, assim como da sua caracterização ambiental. Foi ainda aplicada uma abordagem sistêmica integrando os serviços ecossistêmicos aplicados à conservação das salinas solares. Portanto, teve-se como objetivo central desta investigação realizar a caracterização das salinas solares no litoral semiárido do Brasil, analisando os serviços ambientais prestados por estes importantes ecossistemas, assim como as potencialidades alternativas para a sua gestão. Através de análises de parâmetros físico-químicos da salmoura e dos sedimentos foram caracterizados os diferentes tipos de habitats identificados ao longo do gradiente espacial da salinidade. Concomitantemente, também foram identificados os principais serviços ambientais prestados pelas salinas solares tropicais, os quais permitiram a realização de uma análise sobre quais desses serviços poderiam ser interrompidos em função das diferentes pressões antrópicas. A partir desta análise, verificou-se que as salinas são sistemas integrados, representando ecossistemas com dinâmicas biogeoquímicas diferenciadas, as quais estão associados ao manejo para a atividade económica de produção de sal. Essa afirmativa é observada pois, de um lado tem-se o ecossistema hipersalino, composto por um mosaico de habitats, cuja salinidade é um dos principais agentes reguladores da biodiversidade encontrada em cada habitat. Por sua vez, é exatamente a logística da produção de sal marinho que determina o gradiente espacial da salinidade, o qual influencia na segmentação dos diferentes habitats encontrados nas salinas. Assim, percebe-se que quando corretamente manejado, um sistema biológico típico de uma salina é uma ferramenta de auxílio à produção de sal, configurando-se neste caso como o principal serviço ecossistêmico voltado exclusivamente ao importante mercado do Brasil: a produção de sal marinho por evaporação solar.

keywords

wetlands, ecology, geography, hidrogeochemistry, valuation, salt production.

abstract

The present study analyzed and discussed the ecology and environmental services provided by tropical solar salt works. These man-made ecosystems remain productive throughout the year, having thus an important ecological, economic and cultural relevance. The study was developed in 02 solar salt works located in northeastern Brazil, in the State of Rio Grande do Norte. This state produces 97% of the national marine salt. In these salt works, we found a knowledge gap regarding salt works exploitation in Brazil, as well as its environmental characterization. We also applied an integrated approach of the ecosystems services provided by these solar salt works. Thus, the main objective of this research was to characterize the solar salt works in the semiarid coast of Brazil, by examining the environmental services provided by these important ecosystems as well as the potential alternatives for their management. The different types of habitat identified along the spatial salinity gradient were characterized through the analysis of physicochemical parameters in the salt pans brine and sediments. Concomitantly, the main environmental services provided by these systems were also identified. This allowed a deeper analysis on which of these services might be interrupted due to different anthropogenic pressures. From this analysis, we verified that solar salt works are integrated systems representing ecosystems with differentiated biogeochemical dynamics, which are associated with the management for the economic activity of salt production. This assertion is supported since the hypersaline ecosystem is made up of a mosaic of saltpan habitats whose salinity is one of the key regulators of biodiversity found in each saltpan habitat. On the other hand, the logistics of sea salt production determines the spatial salinity gradient, which influences on the segmentation of different saltpan habitats found in solar salt works. Therefore, it is clear that when properly managed, these typical biological systems (salt works) act as a tool for the production of marine salt, providing an ecosystem service exclusively dedicated to the important Brazilian market, i.e., the production of marine salt by solar evaporation.

ÍNDICE

Capítulo 1 – Introdução.....	1
1.1 - Ecologia geral das salinas solares	2
1.1.1 Caracterização geoquímica	2
1.1.2 Recursos bióticos e produção de sal	4
1.1.3 Importância ecológica das salinas solares.....	17
1.1.4 Zonas úmidas e salinas	19
1.1.5 Proteção e ausência de informações sobre zonas úmidas hipersalinas.....	21
1.2. – Enquadramento da área de estudo	25
1.3 – Objetivos	30
 Capítulo 2 – Evolução histórica e influência das características ambientais na produção de sal no litoral semiárido do Brasil.....	 32
2.1 - Evolução histórica da atividade salineira no estado do Rio Grande do Norte (Brasil).....	33
2.1.1 Evolução histórica da extração de sal marinho no Brasil.....	34
2.1.2 Conclusão.....	49
2.2 - Influência de macroaspectos ambientais na produção de sal marinho no litoral semiárido do Brasil	51
2.2.1 Litoral semiárido e as zonas salineiras	53
2.2.2 Localização geográfica das salinas nos estuários do litoral semiárido	59
2.2.3 Conclusões	60
2.3 - Localização geográfica e produção de sal – estratégias adotadas no estuário hipersalino do Rio Apodi-Mossoró	62
2.3.1 Material e métodos	67
2.3.2 Resultados e discussão	68
2.3.3 Conclusão.....	71
 Capítulo 3 – Caracterização dos compartimentos ambientais (sedimento e coluna de água) das salinas solares no litoral semiárido do Brasil.....	 74
3.1 - Caracterização geoquímica da planície de inundação do estuário do Rio Apodi-Mossoró.....	 75
3.1.1 Área de estudo.....	76
3.1.2 Material e Métodos.....	78
3.1.3 Resultados	79
3.1.4 Discussão.....	85
3.1.5 Conclusão.....	88
3.2 – Revisão da tipologia e compartimentação ecológica das salinas solares brasileiras	 90

3.2.1 Descrição das salinas do nordeste brasileiro	91
3.2.2 Compartimentos da salina	94
a) Setor inicial	94
b) Setor intermediário I	96
c) Setor intermediário II (“filtro biológico”)	97
d) Setor final	98
e) Setor de cristalização	100
3.2.3 Influência do ecossistema no sistema de produção de sal	101
3.2.4 Conclusão	104
3.3 – Caracterização do ambiente químico sedimentar em duas salinas	
solares.....	105
3.3.1 Material e Métodos.....	107
3.3.2 Resultados	108
3.3.3 Discussão.....	118
3.3.4 Conclusão	119
3.4 – Caracterização da variação nictimeral de parâmetros limnológicos	
em uma salina solar	120
3.4.1 Material e métodos	122
3.4.2 Resultados	123
3.4.3 Discussão.....	129
3.4.4 Conclusão	132
Capítulo 4 – Serviços ambientais e potencialidades das salinas solares	
tropicais.....	133
4.1 - Abordagem sistêmica integrando os serviços ecossistêmicos	
aplicados à conservação das salinas solares	134
4.1.1 Metodologia	136
4.1.2 Serviços ecossistêmicos prestados pelas salinas solares	137
4.1.3. Estratégia DPSIR aplicada à análise da gestão das salinas	
solares.....	145
4.1.4 Conclusão	154
4.2 - Salinas solares brasileiras - usos antigos e futuras possibilidades	156
4.2.1 Pesca Artesanal	157
4.2.2 Extração de sais secundário de "águas mãe" ("bitterns"), usada	
para a indústria química	158
4.2.3 Produção de “flor de sal”	160
4.2.4 A cultura de massa de Artemia para a aquicultura.....	161
4.2.5 Microalgas e culturas halobacteria para extração de beta-	
caroteno e glicerol	162
4.2.6 O papel do sistema biológico sobre manutenção da qualidade da	
salmoura	163
4.2.7 Salinas solares como zonas de refúgio para aves migratórios.....	165
4.2.8 Conclusão	166
Capítulo 5 – Conclusões e considerações finais	167
5.1 – Conclusões	168
5.2 – Considerações finais.....	171
Referências bibliográficas.....	174

Índice de figuras, gráficos e tabelas

Capítulo 1

Figura 1 - Precipitação dos sais Segundo Copeland (1967).	3
Figura 2 – Ilustração (a) e fotografia (b) da formação dos tapetes algais bentônicos	5
Figura 3 – Início da proliferação em massa de limo polissacarídeo no no setor intermediário da Salina Miramar (2009).	6
Figura 4 – Esquema ilustrativo da captação de água pelas salinas em estuários hipersalinos.....	10
Figura 5 - Camadas contínuas de folhelhos pretos exemplificando os ciclos evaporíticos em um evaporador com salinidade de 120 gL^{-1}	14
Figura 6 – Localização da zona salineira no litoral semiárido do Brasil (A – Mapa de localização / B – Fotografia ilustrativa).....	26
Tabela 1 – Resumo dos dados sobre as concentrações de amônia, nitrato, fosfato e em lagoas Saltern de diferentes concentrações salinas em localizações diversas.	8
Tabela 2 – Valores aproximados dos nutrientes e parâmetros físico-químicos encontrados nos diferentes ambientes das salinas.	10

Capítulo 2

Figura 7 – Salina artesanal localizada no estuário do Rio Apodi-Mossoró (Grossos-RN).....	46
Figura 8 – Fotografia aérea (2003) das salinas mecanizadas localizadas no estuário do Rio Apodi-Mossoró (RN).....	47
Figura 9 - Localização da atual zona salineira no Estado do Rio Grande do Norte.....	51
Figura 10 – Perfil das diferentes zonas identificadas nas planícies de maré.	54
Figura 11 - Típicos ambientes evaporíticos costeiros em planícies hipersalinas (Município de Porto do Mangue-RN).	56
Figura 12 - Planície de supramaré (1973), situada à leste da cidade de Grossos-RN, ocupada ao longo do tempo por salinas (2010).	57
Figura 13 - Localização do litoral semiárido do Brasil (adaptado de IBGE, 2007).....	58
Figura 14 – Localização das Salinas analisadas no estuário do Rio Apodi-Mossoró (Rio Grande do Norte). A = Salina Miramar; B = Salina São Camilo.	65
Tabela 3 - Mapeamento das salinas artesanais do Estado do Rio Grande do Norte.	48
Tabela 4 – Indicadores avaliados para o cálculo do uso da água para produção de sal marinho das salinas em análise.....	69
Tabela 5 – Cálculo da área necessária para a produção da tonelada de sal marinho nas duas salinas analisadas.	70

Capítulo 3

Figura 15 – Localização das amostras de solo coletadas na planície hipersalina do estuário Apodi-Mossoró (RN-Brasil).	77
Figura 16 – Gráficos de barras dos parâmetros analisados nas amostras de solo, mostrando a variação dos dados entre os pontos (1) e por parâmetro (2).	83
Figura 17 – Gráficos da Análise de Componentes Principais realizada nos parâmetros determinados nas amostras de solo coletadas na planície de inundação hipersalina do estuário Apodi-Mossoró (RN-Brasil).	84
Figura 18 – Fotografias aéreas com a morfologia do local de captação no ponto 3.	88
Figura 19 - Salina artesanal com a colheita manual do sal no estuário do Rio Apodi-Mossoró, município de Grossos-RN (2010).	91
Figura 20 - Típica salina mecanizada do Nordeste com zona de evaporação (à direita) e zona de cristalização (à esquerda).	92
Figura 21 - Sequência da precipitação dos sais contidos na água do mar.	93
Figura 22 – Figura ilustrativa da biodiversidade encontrada no setor inicial de uma no Salina solar típica da região nordeste do Brasil.	95
Figura 23 – Figura ilustrativa da biodiversidade encontrada no setor intermediário de uma Salina solar típica da região nordeste do Brasil.	98
Figura 24 – Figura ilustrativa da biodiversidade encontrada no setor de de evaporação final de uma Salina solar típica da região nordeste do Brasil.	99
Figura 25 - <i>Aphanothece halophytica</i> , cianobactéria produtora de mucilagem em certos estágios de seu desenvolvimento que podem prejudicar seriamente à produção de cloreto de sódio nas salinas solares.	102
Figura 26 – Cristalização anormal do cloreto de sódio devido ao aumento de viscosidade da salmoura provocado por microalgas.	102
Figura 27 – Mapa de localização dos pontos amostrais das salinas Miramar (canto superior) e Francisco Menescal (canto inferior).	106
Figura 28 – Modelo ilustrativo das coletas efetuadas nos diferentes perfis sedimentares analisados nos evaporadores das salinas Miramar (canto superior) e Francisco Menescal.	107
Figura 29 - Variação granulométrica nos sedimentos analisados das salinas Miramar (A) e Francisco Menescal (B).	109
Figura 30 – Variação dos valores de pH nos sedimentos analisados. 110.	111
Figura 31 - Variação dos valores de Ca^{+} nos sedimentos analisados.	111
Figura 32- Variação dos valores de NT nos sedimentos analisados.	112
Figura 33 - Variação dos valores de PT nos sedimentos analisados.	113
Figura 34 - Variação dos valores de CT nos sedimentos analisados.	115
Figura 35 - Variação dos valores de matéria orgânica (MO) nos sedimentos analisados das salinas Miramar e Francisco Menescal.	115
Figura 36 – Gráficos da análise de Cluster realizada nos parâmetros determinados nas amostras de sedimentos coletadas nas salinas Miramar e Francisco Menescal.	117
Figura 37. Localização da Salina Miramar, situada nas margens do estuário do Rio Apodi-Mossoró (RN-Brasil).	121
Figura 38. Variação temperatura ao longo da Salina Miramar.	125

Figura 39. Variação das concentrações oxigênio dissolvido analisados ao longo da Salina Miramar.	125
Figura 40. Variação das concentrações de amônia analisadas ao longo da Salina Miramar.	126
Figura 41. Variação das concentrações de nitrato analisadas ao longo da Salina Miramar.	126
Figura 42. Variação das concentrações de fósforo total ao longo da Salina Miramar.	127
Figura 43. Variação das concentrações de nitrogênio total ao longo da Salina Miramar.	127
Figura 44. Variação das concentrações de clorofila <i>a</i> ao longo da Salina Miramar.	128
Figura 45. Variação das concentrações de feofitina ao longo da Salina Miramar.	128
 Tabela 6 - Valores e estatística descritiva de cada parâmetro analisado nas margens do estuário hipersalino Apodi-Mossoró (RN-Brasil).	81
Tabela 7 - Valores de cada parâmetro analisado nos evaporadores das Salinas Miramar e Fransco Menescal (RN-Brasil).	110

Capítulo 4

Figura 46 – Serviços ecossistêmicos prestados pelas salinas solares.	138
Figura 47 – Estrutura de uso integrado da salina, relacionado os serviços ambientais prestados por esse ecossistema e a influência da intervenção humana (<i>Driver</i>) no mesmo.	138
Figura 48 – Estratégia DPSIR aplicada à análise das actividades humanas nas salinas solares.	148
 Quadro 1 – Tabela com a descrição dos principais serviços ecossistêmicos gerados pelas salinas solares e analisados através da estratégia do DPSIR.	147

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1 - Ecologia geral das salinas solares

As salinas solares são encontradas em regiões tropicais e subtropicais em todo o mundo, nas quais a água do mar é evaporada em uma série de lagos artificiais rasos, hipersalinos e interligados para a produção comercial de halita (NaCl) e também por vezes outros sais (Oren, 2009). Estes sistemas costeiros representam habitats antropogênicos típicos das zonas de supramaré (López et al, 2010) e são utilizados pelo homem a milênios para a produção de sal (Baas-Becking, 1931).

Nas salinas, a água do mar é bombeada para o primeiro conjunto de tanques evaporadores, até evaporar a uma salinidade definida, sendo então transferida para a próxima série de evaporadores, enquanto aumenta a salinidade em cada etapa. Finalmente a salmoura saturada com NaCl (99,7%) é transferida para os tanques cristalizadores (profundidade < 20 cm), nos quais se tem a precipitação final dos sais de halita (Davis, 2000). Portanto, as salinas consistem de um gradiente contínuo de salinidade, em que a concentração de sais em cada evaporador é mantida aproximadamente constante ao longo de todo o ano (Oren, 2002).

1.1.1 Caracterização geoquímica

A análise da dinâmica geoquímica está fortemente associada ao conceito da precipitação fracionada dos sais da água do mar (**Fig. 1**), proposto por Copeland (1967). Verifica-se a relação direta entre a elevação da saturação de sais na salmoura, onde os diferentes sais formados apresentam limites diferentes de dissolução no ambiente, vindo a precipitar-se quando atingem saturações máximas (Oren, 2002).

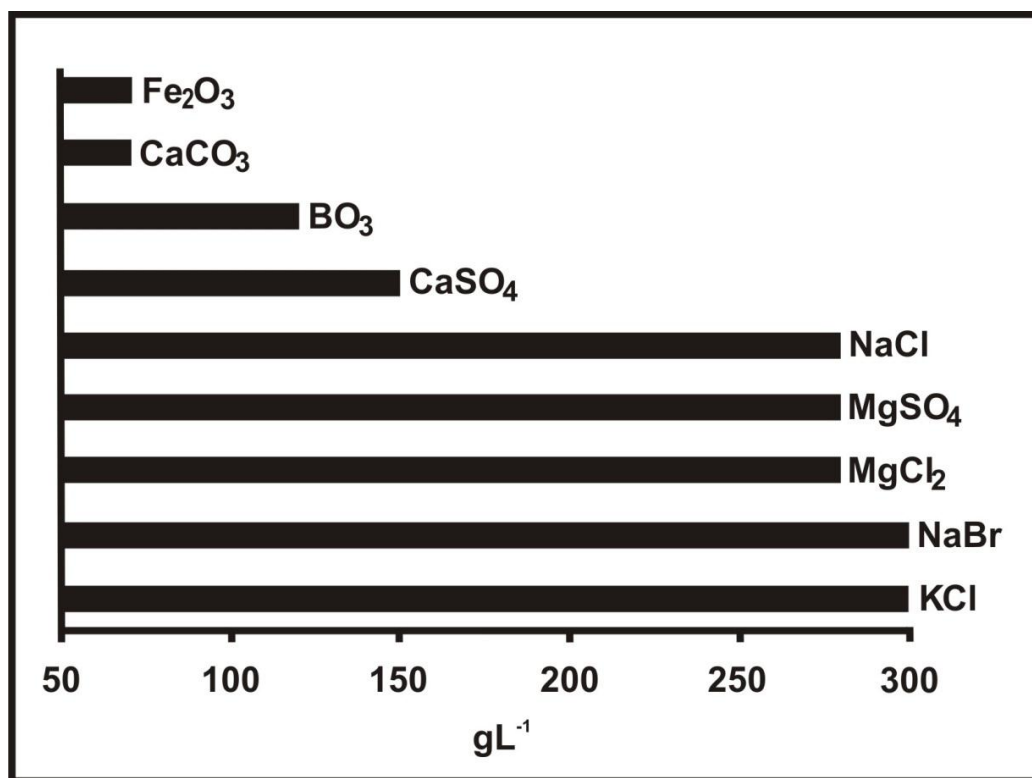


Figura 1 - Precipitação dos sais Segundo Copeland (1967).

Em uma fase inicial, o cálcio primeiramente se associa aos carbonatos (Calcita - CaCO₃), precipitando-se já em salinidades em torno de 50 a 80 g.L⁻¹. Em seguida, este elemento passa a associar aos sulfatos (Gipsita - CaSO₄), vindo a precipitar-se gradativamente ao longo dos evaporadores da salina, até atingir seu máximo de precipitação entre 150 e 160 g.L⁻¹, formando em algumas salinas uma crosta de centímetros de espessura (Oren, 2009). Este processo representa as duas primeiras fases de evaporação, onde os depósitos desse tipo de gesso são caracteristicamente encontrados no substrato das salinas entre este intervalo de salinidade.

Por sua vez, cristais de NaCl (halita) formam-se quando a concentração de sal total atinge valores superiores a 210 g.L⁻¹. Após a maior parte do NaCl precipitar-se para o substrato das salinas, ainda permanecem salmouras concentradas (“água-mãe” ou "bitterns"), contendo principalmente concentrações elevadas de magnésio, potássio, cloreto e sulfato. Estas salmouras são geralmente descartadas no mar ou para processamento adicional, para a colheita de potássio (KCl), ou outros sais (Javor, 1989, 2002; Davis, 2000; Oren 2003).

1.1.2 Recursos bióticos e produção de sal

A manutenção de comunidades biológicas estáveis em salinas solares é importante para assegurar um sal de elevada qualidade e quantidade do sal produzido. Comunidades de fitoplâncton são especialmente importantes para a produção de sal pois aumentam a absorção da energia solar, aumentando a evaporação, além de servirem de ponto de apoio para o início da cristalização do cloreto de sódio (Davis, 1990, 2000). No substrato destes ambientes, são comumente encontrados densos tapetes microbianos bentônicos (“mats”) compostos por de cianobactérias fototróficas (uma variedade de procariontes heterotróficos), diatomáceas, protozoários e outros microorganismos (**Fig. 2**). Nos evaporadores com salinidade intermediária, o “mat” atua como sumidouro de nutrientes e, efetivamente atua impermeabilizando os evaporadores, evitando a infiltração e consequente perda de salmoura (Davis, 2000; Oren, 2003, 2009).

O estudo das influências ou relacionamento entre as comunidades biológicas e a produção de sal/gestão salina não é apenas de interesse puramente científico: em um cenário de abundância de nutrientes, as cianobactérias bentônicas podem produzir grandes quantidades de um limo polissacarídeo, formando uma massa coesa microbiana que podem por vezes atingir vários centímetros de profundidade (**Fig. 3**).

Este composto afeta negativamente o processo de produção de sal, pois aumenta a viscosidade da salmoura, reduzindo ou mesmo impedindo a evaporação da água e cristalização do sal (De Medeiros Rocha e Câmara, 1993; Rahaman et al., 1993; Davis e Giordano, 1996; Oren, 2009). Todavia, a falta de nutrientes inorgânicos (nitrogênio, fósforo) pode induzir as células a eliminar o carbono fixado fotossinteticamente sob a forma desses polissacarídeos extracelulares (Roux, 1996).

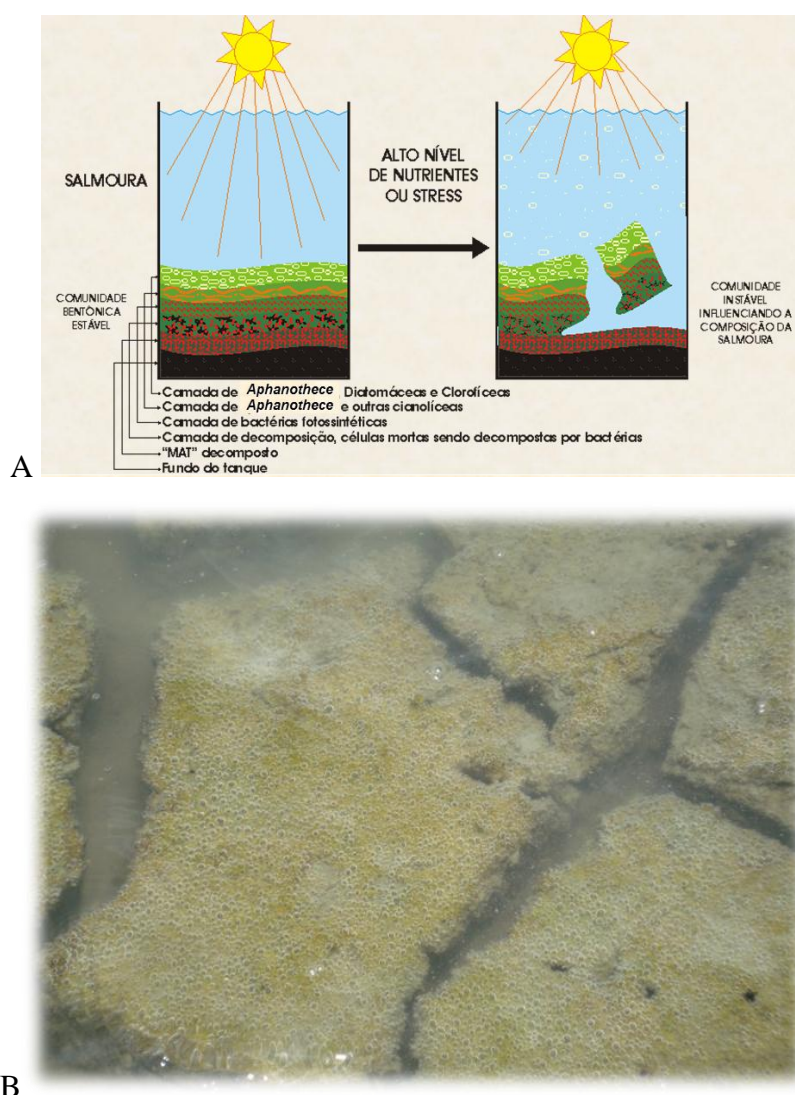


Figura 2 – Ilustração (a) e fotografia (b) da formação dos tapetes algais bentônicos ("mat") nos evaporadores das salinas (adaptado de Davis, 2000 e Oren, 2009).

Fonte – (A) Retirado de Mede Medeiros Rocha (2011) / (B) Foto do autor na Salina Francisco Menescal (2012).



Figura 3 – Início da proliferação em massa de limo polissacarídeo no no setor intermediário da Salina Miramar (2009).

Fonte – (A) Imagem obtida no SIGWeb Livre *Google Earth* (2012) / (B) Foto do autor na Salina Miramar (2012).

Atividade fotossintética desses tapetes bentônicos pode ser muito alta. Concentrações de carbono inorgânico dissolvido dentro dos “*mats*” são frequentemente baixas durante o dia, apesar da atividade fotossintética normalmente provocar um enriquecimento. Este efeito foi sugerido como sendo devido a uma invasão de carbono isotopicamente leve da atmosfera para a salmoura, onde esse fracionamento cinético diminui o valor do carbono inorgânico dissolvido (Oren, 2002). Este mecanismo pode explicar a composição isotópica do carbono encontrado em rochas carbonáticas em seções evaporíticas encontrados no registro geológico (Lazar e Erez, 1990, 1992; Gazit-Yaari et al., 1999; Oren, 2009).

Os biótopos nas salinas diferem-se significativamente ao longo de todo mundo em relação a quantidade de nutrientes das salmouras e o tempo de retenção da água no sistema (Tab. 1 e 2), que depende principalmente das condições climáticas (Oren, 2002). As concentrações desses nutrientes encontrados nas salinas dependem de características hidrodinâmicas, químicas (inclusive da coluna da água e qualidade dos sedimentos), e biológicas (Davis, 2000; Joint et al., 2002; Pedrós-Alió, 2004; López et al., 2010).

A análise da dinâmica de nutrientes nas salinas se traduz como de elevada complexidade em função do processo de eutrofização em muitos estuários da região, o qual se configura como um o enriquecimento em nutrientes, minerais e orgânicos, na água e nos sedimentos, originando uma proliferação excessiva do fitoplâncton (Dodds, 2006). Portanto, grande parte da carga de nutrientes na coluna d’água é oriunda de fontes externas, através da descarga de água onde esse processo ocorre, nos quais as salinas fazem a captação (**Fig. 4**), assim como de processos endógenos, como ressuspensão/remineralização do sedimento e águas de sedimento intersticial (De Medeiros Rocha e Câmara, 1993; Oren, 2009; Segal et al., 2009). Excrementos de pássaros, ricos em nitrogênio e fósforo, podem fornecer uma adição significativa de nutrientes, uma vez que grandes bandos de aves são atraídos para as salinas para se alimentar do zooplâncton (Davis, 2009).

Tab. 1 – Resumo dos dados sobre as concentrações de amônia, nitrato e fosfato em salinas solares de diferentes locais do globo.

Localização	Salinidade (gL ¹)	Amônia – N (μM)	Nitrato – N (μM)	Fosfato – P (μM)	Comentários (Concentração em μM)	Fonte
Europa						
Santa Pola, Alicante Espanha	370	3,9	6,2			Joint et al. (2002)
	316	1-2	6,2			
	54-150	1,5-2,4	3-4			
Bras del Port, Alicante, Espanha	Salinas (300-370)	150-230	4-18	5-7	Nitrito 8	Pedrós-Alió et al. (2000)
	Tanques de Evaporação (40-250)	40-230	0-4	4-8	Nitrito 8	
La Trinitat, Ebro Delta Espanha	Salinas (300-370)	3-4	0-38	1-2	Nitrito 0	Pedrós-Alió et al. (2000)
	Tanques de evaporação (40-250)	3-13	0-3	2-3		
Salin de Giraud, França	Todas salinidades		<20-25	<0,01-0,02		Landry e Jaccard (1982)
	Todas salinidades	Aproximadamente 500 tapetes em decomposição	até 25 de cristalizado r lagoa	<0,04		Britton e Johnson (1987)
Bulgas, Bulgaria	Salinas			8,6	Total N (Amônia + nitrato) 2,2	Pavlova <i>et al.</i> 1980
Megalon, Embolon salinas, Grécia	65-144	6-16 mg l ⁻¹	0,9-1,9 mg l ⁻¹	0,07-0,21 mg l ⁻¹		Dolapsaki et al. (2005)
Salina Tanoeiras, Aveiro - Portugal ¹	15 - 115	-	0 - 57	0 – 3,9		Vieira e Bio (2011)
Austrália						
Salinas Dampier W. Austrália	Evaporadores			0,05-0,13		Sammy (1983)
	Cristalizadores			Abaixo do limite de detecção		
Cheetham salinas queensland	Diferentes salinidades			0,16-0,48		Coleman e White (1993)

¹ Esta salina opera de maneira artesanal, com um sistema de funcionamento e produção diferenciado das demais.

América						
Exportadora de sal, Baja Califórnia, México	lagoa evaporação todas as salinidades	<5	<1	<0,2		Javor (1983 a,b)
	Cristalizadores	5-10	10-20	2,5	Fosfato até 10 Nitrato até 30 Amônia até 50	
Sal Ocidental Chula Vista, CA, USA	Todas salinidades	2-20	2-36	0-3,5		Javor (1983 a,b)
Cabo Rojo Porto Rico	Evaporadores estação chuvosa 40-150 Estação seca 150-265					
Mundial						
Média Mundial	Cristalizadores	15	10	1		Davis & Giordano (1996)
Valores típicos	Lagoas de gesso	0-7 em salinas oligotróficas 1-50 em salinas eutróficas		<1 em salinas oligotróficas 1-10 em salinas eutróficas		Javor (2002)
	Cristalizadores	0-7 em salinas oligotróficas 5-50 em salinas eutróficas	tipicamente não detectáveis	0-2 em salinas oligotróficas, até 2-60 em salinas eutróficas		

Fonte – Adaptado de Oren (2009).

Tab. 2 – Valores aproximados dos nutrientes e parâmetros físico-químicos encontrados nos diferentes ambientes das salinas.

	Oligotrophic			Eutrophic		
	Pre-gypsum ponds	Gypsum ponds	Crystallizer ponds	Pre-gypsum ponds	Gypsum ponds	Crystallizer ponds
Salinity [$^{\circ}$ Bé]	3–15	15–25	26–30	3–15	15–25	26–30
Ammonia [μ M]	0–7	0–7	0–7	1–50	1–50	5–50
Phosphate [μ M]	0	0	0–2	0.3–20	1–10	2–60
Carbohydrates [mg/l]	<10	10–20	10–40	0–20	25–60	≥ 100
Turbidity [OD 400 nm]	≤ 0.050	≤ 0.020	≤ 0.030	0.010–>0.400	140–0.250	0.200–0.400
Particulate protein [mg/l]	<0.4	<0.4	<0.4	<1–7	4–15	20–35
Chlorophyll <i>a</i> [μ g/l]	0–30	0	0	2–100	2–70	15–90
Sediment P [μ g/g]	≤ 500	–	–	150–>1000	–	–
Sediment percent organic C	3–5% no mat 10–15% mat	–	–	2–16%	–	–

From Refs. [8–10]. $^{\circ}$ Bé is approximately equivalent to percent salinity below 26 $^{\circ}$ Bé. Net turbidity measurements exclude intake brines.

Fonte – Javor (2002).



Figura 4 – Esquema ilustrativo da captação de água pelas salinas em estuários hipersalinos.

Fonte – Montagem fotográfica das salinas do estuário Apodi-Mossoró elaborada pelo autor (2012).

Todavia, o excesso de nutrientes e carbono orgânico dissolvido aumenta a produção primária nos evaporadores finais, onde essa salmoura ao chegar nos cristalizadores pode interferir a formação de cristais de sal, reduzindo a qualidade

de sal e enfraquecimento dos pisos no cristalizador (Davis, 1990, 2000; Davis e Giordano, 1996; De Rocha e Câmara, 1993).

Conforme observado por Sammy (1983) e Coleman (2009), geralmente há um aumento dos níveis de carbono orgânico dissolvido (COD) nas salinas. Esse aumento ocorre principalmente nos evaporadores com salinidades entre 5 a 60 ppm, indicando o crescimento da atividade biológica. Porém, vale salientar que os métodos geralmente utilizados para avaliar a produção primária em ambientes aquáticos têm sido desenvolvidos e otimizados para utilização em ambientes de água doce e marinhos (Oren, 2000).

Em termos de produção primária, nas salinas solares têm sido verificada a fixação de nitrogênio por bactérias bentônicas e enxofre por cianobactérias fotossintéticas (Roux, 1991). Em contraste, Joint et al. (2002) relataram que, nestes ecossistemas, o nitrogênio e o fósforo não limitam significativamente a fixação fitoplanctônica do carbono pela fotossíntese. Para Segal et al. (2009), as grandes variações nesses elementos observados em estuários e nas salinas oferecem oportunidades únicas para comparação da dinâmica entre estes nutrientes com outros elementos.

Com relação especificamente às concentrações, tanto nitrogênio orgânico dissolvido quanto o fósforo orgânico dissolvido constituem mais de 50% do nitrogênio e fósforo totais da coluna d'água nas salinas solares (Segal et al., 2006). Nestes ambientes, mesmo que apenas uma pequena fração orgânica dissolvida destes nutrientes esteja disponível para o fitoplâncton, a limitação de nutrientes pode ser facilmente atenuado por processos de nitrificação bacteriana e/ou ressuspensão do estoque armazenado no “*mat*” (Segal et al., 2009).

Todavia, mundialmente as concentrações de nutrientes nas salinas variam amplamente, onde mesmo as concentrações dentro de um único evaporador também pode variar consideravelmente (Tab. 2), mesmo dentro de alguns dias, conforme mostrado por Joint et al., (2002) nas salinas de Santa Pola, Alicante, Espanha. Essas variações dependem da localização geográfica, estação, práticas de gestão, e muitos outros fatores, onde por vezes os nutrientes (azoto e/ou fósforo) são adicionadas

como fertilizantes para melhorar o desenvolvimento dos tapetes microbianos bentônicos ou comunidades planctônicas (Davis, 1993; De Medeiros Rocha e Camara, 1993; Oren, 2009).

Elevados níveis de nutrientes ao longo dos circuitos de produção de sal são reportados por outras salinas (e.g. Abid et al., 2008; Segal et al., 2009; López et al., 2010), onde a supersaturação foi comum em muitos evaporadores onde a produção primária rapidamente anulou a solubilidade do oxigênio em determinada temperatura e salinidade (Pedros-Alió et al., 2000).

Nestas salinas, o nitrato foi encontrado em maiores concentrações nas mais altas salinidades, sendo porém a amônia, de longe, o nutriente inorgânico mais abundante, talvez devido à excreção por protistas e invertebrados (Pedros-Alió et al., 2000). Tal fato é enfatizado em função de que o nitrogênio desempenha um papel crucial na manutenção da proliferação de dinoflagelados em ecossistemas marinhos (Dira et al., 2008). Partindo desta perspectiva, Oren (2009) vem a concordar com a hipótese de que, assim como para os demais ecossistemas aquáticos, quando os nutrientes são suficientes nas salinas, a temperatura e a intensidade da luz são elementos determinísticos de crescimento do fitoplâncton (Anderson et al., 1994).

O fato de as concentrações de nitratos serem frequentemente elevadas nos tanques cristalizadores, muito além do esperado com base na concentração de água do mar, excedendo por vezes as concentrações de amônia, é ainda inexplicável (Oren, 2009). A fonte das concentrações desse nutriente está longe de ser clara, uma vez que a principal explicação poderia ser através da teoria da nitrificação autotrófica, que em ambientes normais é responsável pela oxidação da amônia através de nitrito à nitrato, a qual não funciona em concentrações de salinidade acima de 100-150 gL⁻¹ (Oren, 1999, 2001).

Em muitos trabalhos, as formas de nitrogênio e fósforo total registrados ao longo do período de estudo foram sempre superiores nas zonas intermediárias e final das salinas (Oren, 2009). Porém, estas concentrações elevadas são geralmente

características da eutrofização em sistemas aquáticos interiores hipereutróficos e menos salinas (Javor, 1989; Aleya et al., 1994).

Portanto, evidencia-se que na maioria das salinas, as concentrações de nutrientes aumentam com o aumento da salinidade. Isto pode ser devido tanto à concentração por evaporação da água e a atividade bacteriana (Oren, 2009). Como já comentado anteriormente, as aves aquáticas são frequentemente encontradas em grandes números próximos aos evaporadores, onde os seus excrementos podem também aumentar a carga de nutrientes das salinas (e.g. Pedros-Alió et al., 2000; Masero, 2003; Tachkaert et al., 2006; López et al., 2010).

Partindo da afirmativa de que os *mats* podem agir como zonas de acumulação de nutrientes, bem como fontes destes nutrientes, o aumento acentuado na concentração de amônia nos evaporadores da Salina Cabo Rojo (Porto Rico) durante a estação chuvosa foi explicado pela degradação microbiana de nitrogênio contendo osmólitos (glicina, betaína, ectoine, etc) acumulado pela comunidade microbiana durante a estação seca (Casillas-Martinez et al., 2005). Nesta salina, as concentrações de fósforo apresentaram tendências opostas com a salinidade, com um ligeiro aumento na estação seca e uma diminuição na estação chuvosa.

Os estudos de Canfield & Des Marais (1993) nos evaporadores (salinidade 65-125 gL⁻¹) da Salina Guerrero Negro forneceram informações interessantes sobre a produtividade primária dos *mats*. Nesta salina, o monitoramento de perfis de oxigênio e medições de parâmetros físico-químicos durante ciclos dia-noite permitiu o estabelecimento de um modelo detalhado. Durante o dia, a maior parte do oxigênio formado neste ambiente é reciclada localmente pela respiração de carbono orgânico e por oxidação do sulfureto que se difunde a partir das camadas mais profundas. Durante a noite, a oxidação do sulfureto próximo da interface água-*mat* é o processo que principalmente consome o oxigênio.

A natureza deste carbono é ainda desconhecido (Canfield & Des Marais, 1993; Des Marais, 1995; Oren, 2009). Uma explicação alternativa para o carbono inesperado pode ser a subestimação da fotossíntese líquida pelo fluxo de oxigênio, medido pelo consumo de oxigênio por meio da oxidação de sulfuretos de metal

acumulados durante a noite nas salinas (Wieland et al., 2005). Todavia, a metanogênese também pode ocorrer em sedimentos salinos. Um estudo realizado em salinas na costa da Bretanha, França, mostraram altas taxas de formação de metano abaixo de 70 ppm de salinidade, não sendo formado em salinidades intermediárias (Giani et al., 1989b).

Por sua vez, segundo Joint et al. (2002), as concentrações de clorofila *a* nos primeiros evaporadores alimentados com água mediterrânea foram de aproximadamente $4 \mu\text{g L}^{-1}$, aumentando para $\sim 8 \mu\text{g L}^{-1}$ em salinidades de 54-102 g L^{-1} , seguindo de uma redução e novamente um aumento a uma salinidade acima de 320 g L^{-1} . Segundo esses autores, a maior taxa fotossintética potencial foi medida a 80 g L^{-1} ($38,6 \mu\text{g cl}^{-1} \text{ h}^{-1}$), onde nos primeiros evaporadores (40 g L^{-1}), a atividade foi muito mais baixa ($7,8 \mu\text{g cl}^{-1} \text{ h}^{-1}$).

Cada ciclo evaporítico é marcado, no topo e na base, por camadas contínuas de folhelhos pretos (**Fig. 5**), predominantemente orgânicos, extremamente favoráveis à geração de hidrocarbonetos. Seu elevado conteúdo em H_2S torna-os hospedeiros preferenciais para depósitos de sulfetos metálicos.



Figura 5 - Camadas contínuas de folhelhos pretos exemplificando os ciclos evaporíticos em um evaporador com salinidade de 120 g L^{-1} .

Fonte – Foto do autor na Salina Francisco Menescal (2012).

A origem desses folhelhos pretos, na base de cada ciclo evaporítico, já vem sendo estudada a bastante tempo (e.g. Hite, 1970; Kirkland e Evans, 1981; Demaison e Moore, 1980; Casillas-Martinez et al., 2005). Tais estudos constataram um acentuado aumento na produtividade do fitoplâncton, em ambientes hipersalinos, em consequência de:

(i) concentração e suprimento contínuo de nutrientes (N e P) em ambientes evaporíticos;

(ii) há pouca ou nenhuma competição entre as espécies que conseguem sobreviver em tais ambientes com outras espécies, com respeito à alimentação, ao espaço, etc. O aumento progressivo da salinidade causa uma contínua depleção em oxigênio, tendo em vista o decréscimo da solubilidade deste elemento com o aumento da salinidade no último caso. A remoção do oxigênio cria severas condições anóxicas, nas quais os processos de decomposição da matéria orgânica, depositada no fundo, são realizados à custa de bactérias anaeróbicas, que reduzem o SO_4 existente nos sedimentos, dando origem à formação de gás sulfídrico (H_2S).

Portanto, a análise da dinâmica de nutrientes em diferentes evaporadores é representativa, vindo a ser apropriada para monitorar a eficácia de estratégias de conservação e de gestão (Velasquez e Hóquei, 1991; Zacarias e Roff, 2001). Nesse sentido, a identificação da dinâmica de nutrientes é importante para a gestão das salinas, mas também pode fornecer informações valiosas sobre a função ecológica desses ambientes especializados (Beardall et al., 2001; Oren, 2009).

Um dos elementos mais complexos para se avaliar dentro da complexidade do ecossistema da salina se trata dos impactos positivos e negativos produzidos pela biodiversidade encontrada no setor intermediário. De fato, o desenvolvimento de densas comunidades microbianas em salinas solares é de grande importância para o bom funcionamento da operação de produção de sal, onde os rendimentos da produção podem ser diminuídos fortemente nas salinas em que a biota não se desenvolve adequadamente (Davis, 2000, 2009; Oren, 2002, 2010).

Um dos elementos mais complexos para se avaliar dentro da complexidade do ecossistema da salina se trata dos impactos positivos e negativos produzidos pela

biodiversidade encontrada no setor intermediário. As comunidades microbianas coloridas (mar vermelho com Archaea, *Dunaliella* e cianobactérias) aumentam significativamente a absorção de luz pelas salmouras, elevando sua temperatura e consequentemente aumentando o processo de evaporação (Javor, 1989, 2002), atingindo temperaturas da salmoura de até 41° nas salinas em salinas da Espanha (Rodriguez-Valera, 1988).

O aumento da temperatura da água é de importância crucial pois as pressões do vapor de água das salmouras concentradas são muito baixas e, assim, relativamente altas temperaturas são necessárias para determinar uma evaporação suficientemente rápida (Davis, 1974; Jones et al., 1981). Em sistemas pobres em nutrientes, fertilizantes podem, portanto, ser aplicado para estimular o desenvolvimento de algas e bactérias pigmentadas (Davis, 1978).

Outro efeito benéfico adicional dos tapetes bentônicos de cianobactérias é a impermeabilização do substrato contra a infiltração de salmouras, que de outra forma poderia causar perdas significativas (Oren, 2002). Os polissacarídeos viscosos produzidos pelas cianobactérias, em especial por parte dos tipos unicelulares (designados como *Aphanothece halophytica*, *Cyanothece*, *Halothece*, etc.) são particularmente eficazes na prevenção de perdas de salmoura por infiltração (Davis, 1978; Sammy, 1983).

Recentemente têm sido feitas pesquisas para se investir qual o papel das halobactérias halofílicas nas salmouras dos cristalizadores influenciando diretamente na formação de cristais de halita (Oren, 2002). Sugeriu-se que a influência das halobacterias seria primeiramente com ponto inicial de cristalização, onde as células podem servir como modelos da nucleação e formação de cristais halite (López-Cortés e Ochoa, 1998).

1.1.3 Importância ecológica das salinas solares

Em termos de conceito sobre a Ecologia enquanto ciência, um dos mais aceitos diz que é a “ciência que estuda todas as relações entre os organismos atuais e os ambientes envolventes, a distribuição dos organismos nestes ambientes, bem como a natureza das suas interações”. Em termos de unidade básica de análise em Ecologia, esta se dá inicialmente a partir dos Ecossistemas, que são “sistemas integrados e autofuncionantes que consistem em interações dos elementos bióticos e abióticos, e cujas dimensões podem variar consideravelmente” (Begon et al., 2006).

Enquanto ecossistemas, as salinas solares apresentam uma ampla gama de salinidades, desde a água salgada do mar até a saturação da halita, nas quais as densidades das comunidades microbianas encontradas são geralmente elevadas (Litchfield et al., 1999). Do ponto de vista da biologia, os evaporadores podem ser divididos em três grupos principais (Davis, 2000).

No primeiro grupo, a água do mar evapora-se até cerca de três vezes a sua salinidade original. Por captarem águas estuarinas ou diretamente no mar, a biodiversidade dos evaporadores iniciais das salinas é composta majoritariamente por espécies típicas destes ambientes. No caso específico do estoque pesqueiro, este é composto principalmente por peixes (e.g. *Anchovia* sp., *Elops saurus* Linnaeus, *Tachysurus* sp.), caranguejos (e.g. *Goniopsis cruentata* Latreille, *Callinectes exasperatus* Gerstaecke, *Ucides cordatus* Linnaeus) e camarões (e.g. *Penaeus aztecus subtilis* Perez-Farfant, *P. brasiliensis* Latreille), os quais são capturados durante a fase de larvas ou juvenis pelas fortes bombas de captação (Fausto Filho, 1984).

Em salinidades mais elevadas (de três a sete vezes a salinidade da água do mar), a água torna-se de cor escura e suporta densas populações de algas, principalmente do gênero *Dunaliella* e *Asteromonas*, em que o microcrustáceo *Artemia* sp. (Branchiopoda, Anostraca) e larvas de *Ephydra* spp. Esta biota zooplânctônica atrai pássaros locais e migratórios para que se alimentam nas salinas (Davis, 1978; López et al., 2010).

Em termos ecológicos, a mudança das planícies salinas para tanques com salmoura propiciou a criação de um ambiente úmido estável ao longo de todo o ano (Korovessis e Lekkas, 2006). Com esta estabilização, tem-se a colonização de uma fauna e flora aquáticas permanentes, representando hoje um hábitat único para aves migratórias e residentes, mamíferos, répteis, etc., pois abrigam diversas espécies de peixes, moluscos, e anelídeos nos tanques com água de salinidade próxima à do mar (Masero, 2003; López et al., 2010).

O fluxo de água através dos evaporadores cria um gradiente íngreme e estável de características físico-químicas, principalmente de salinidade (Baudin, 1980; Britton e Johnson, 1987; Javor, 1989). A organização espacial destes ecossistemas com suas diferentes profundidades, necessárias para o processo de produção de sal, favorece um alto grau de heterogeneidade espacial e a ocorrência de microambientes muito produtivos, atraentes para muitos consumidores primários e secundários (Evangelopoulos et al., 2008). Tais condições são toleradas pelas comunidades aquáticas com ciclos complexos e relações interespecíficas e das espécies que são altamente especializados para a vida neste ambiente (Geddes et al., 1981; Williams, 1993; Forbes e Cyrus, 1993; Marín e d'Ayala, 1996; López et al., 2010).

As salinas solares contêm comunidades ricas e variadas de microrganismos fototróficos ao longo do gradiente salino, e a produção fotossintética primária por estas comunidades determinada em grande parte as propriedades do sistema salino (Oren, 2009). O microcrustáceo *Artemia* spp., devido como suas características de osmoregulação, distribue-se em vaporadores com altas concentrações de sais (Masero et al., 1999; Amat, 2007; López et al., 2010).

Os processos microbianos em lagoas nesses ecossistemas, incluindo a produção primária pelas algas e cianobactérias halofílicas na água e nos sedimentos, são amplamente comparáveis aos processos que ocorrem em lagos salgados com salinidade semelhante, tanto em lagoas costeiras quanto no interior (Oren, 2009).

A discussão dos processos de produção primária em lagos com este gradiente de salinidade, assim como a comparação dos fenômenos observados no

ambiente artificial das salinas adquire um relevante interesse científico (Oren, 2009).

Por outro lado, os dois extremos de salinidade fornecem a possibilidade de se realizar uma análise biogeoquímica comparativa entre um dos habitats mais comuns (água do mar) e um dos habitats mais extremos do mundo (salmouras saturadas de cálcio, cloreto e/ou magnésio), pois em nenhum outro sistema há tal gradiente de um total de ambientes com diferentes salinidades disponíveis a uma curta distância. Assim, a resposta da estrutura da teia alimentar, os fluxos de elementos, a diversidade da comunidade e as adaptações dos organismos podem ser facilmente analisadas em virtude de se poder analisar simultaneamente várias lagoas diferentes ao longo do gradiente de sais (Pedros-Alió et al., 2000).

A forma de produção de sal em vários tanques determina a subdivisão ecológica da salina em um sistema com vários ambientes (Davis, 2000, Pedrós-Alió et al., 2000, Pedrós-Alió, 2004). Essa segregação ecológica é muito importante para a sua conservação porque tal heterogeneidade espacial propicia uma alta diversidade de tipos de habitat aquáticos, assim como para diversas espécies de aves, funcionando como interligações ecológicas (Davis, 2000; López et al., 2010).

1.1.4 Zonas úmidas e salinas

As salinas são zonas úmidas artificiais que são interessantes do ponto de vista da conservação da natureza. Eles desempenham um papel importante tanto como habitat para espécies de aves aquáticas migratórias e como redes de conectividade bióticas. Na bacia do Mediterrâneo, onde as salinas costeiras são altamente significativas como habitats alternativos e complementares para aves aquáticas, um processo de abandono ocorre, e muitos sistemas seminaturais deste tipo estão desaparecendo (López et al., 2010).

Apesar de sua importância e valor, as zonas úmidas estão a ser ameaçadas globalmente, por razões diferentes: drenagem, superpopulação, eutrofização,

intensificação da agricultura, a superexploração, poluição, alteração das condições ecológicas, etc. Muitas dessas ações estão relacionadas uns com os outros e podem criar efeitos sinérgicos: desde 1900, mais da metade das áreas úmidas do mundo desapareceram (Casado e Montes, 1991, 1995; Barbier 1993; Pearce & Crivelli, 1994; Schuyt e Brander, 2004). As zonas úmidas hipersalinas não são diferentes a este respeito, pois elas estão sob ameaça em quase toda parte do mundo, onde muitas delas continuam a ser destruídas ou irremediavelmente danificadas (Williams, 1986, 1993, 1998, 2002; Jellison, 2003).

Esses ambientes acolhem um número de valores (natural, cultural, imaterial) e funções (regulação dos processos naturais, a produção de *commodities* e matérias-primas, tais como o sal, cosméticos, plantas comestíveis, microorganismos para aplicações biotecnológicas e industriais, etc). Nestas áreas são desenvolvidas uma série de atividades econômicas, como a agricultura, a pecuária, o turismo, recreação, etc., além de práticas educativas através da pesquisa, que os tornam habitats complexos que requerem abordagens complexas (Hammer, 1986; Skinner & Zalewski, 1995).

Na bacia do Mediterrâneo, muitos ambientes seminaturais desse tipo eram parte de valiosas paisagens costeiras e culturais. Atualmente, para além do seu valor ecológico e grande biodiversidade, estes ambientes valorizados tornaram-se cada vez mais escassos (Britton e Johnson, 1987; Sadoul et al., 1998; Masero, 2003; Ortega et al., 2004).

O uso das salinas por aves aquáticas é a mais frequentemente levado em consideração com relação à avaliação do valor natural destas zonas úmidas para a conservação como áreas protegidas. A abundância, presença ou ausência de aves provaram ser indicadores eficazes da integridade biológica em zonas úmidas e também são consideradas bons indicadores de condições ecológicas de uma área e das mudanças ambientais nele (Bradford et al., 1998; Howe et al., 2007).

Portanto, a pesquisa básica nas salinas ainda é necessária. Vários autores têm sugerido uma série de questões de interesse, tais como a diversidade e dinâmica de microorganismos halofílicos, processos limnológicos a longo prazo, modelagem

ecológica dos ecossistemas salinos, biogeoquímica, valores culturais tangíveis e intangíveis etc. (Álvarez, 2007; Guerrero e De Wit, 1992; Viñals et al., 2002, 2005). Portanto, a pesquisa aplicada para a utilização ótima dos recursos nas zonas úmidas salinas e hipersalinas (ou seja, biotecnologia, eletrônica, usos farmacêuticos, etc.) também pode ajudá-las a se recuperar de forma ainda rentável (Hueso e Carrasco, 2008).

Além da importância para a economia local, as salinas também representam um patrimônio histórico, natural e arquitetônico ainda pouco reconhecido. Em termos de história e arquitetura, nelas ainda são replicadas as técnicas de construção e gestão desde os primórdios dessa atividade (Almeida, 2005).

1.1.5 Proteção e ausência de informações sobre zonas úmidas hipersalinas

A proteção das salinas tem sido um fenômeno muito recente e ainda está longe de ser representativo, como será discutido abaixo. As primeiras declarações de áreas protegidas em todo o mundo, no final do século 19, com foco em paisagens montanhosas românticas, cênicas e selvagem. Naquela época, as zonas úmidas foram consideradas um incômodo e até mesmo uma ameaça à saúde pública, pois hospedavam parasitas e insetos que podem facilmente transmitir doenças infecciosas. Décadas mais tarde, a atenção foi finalmente colocada em zonas úmidas, em parte devido à Convenção de Ramsar sobre Zonas Úmidas, em 1971 (De Groot et al., 2006; Korovessis e Lekkas, 2006).

Uma das maiores dificuldades em se planejar a conservação das salinas diz respeito ao enquadramento individual de cada uma quanto aos requisitos do Ramsar, como hospedar espécies ou comunidades de importância internacional. Muitas pequenas salinas não têm esse recurso, devido à sazonalidade da inundação dos tanques, salinidade flutuante, tamanho da área úmida, distância de zonas úmidas de maior dimensão, posição geográfica fora das rotas principais de aves migratórias,

etc. (Casado e Montes, 1991). Nesse sentido, características típicas das salinas como habitat de espécies específicas de plantas ou comunidade, infelizmente a diversidade microbiana ou raridade e/ou fragilidade dos organismos halófilos estão apenas começando a ser amplamente reconhecida pela comunidade científica (Huesco e Carrasco, 2009).

Entretanto, embora já se tenham iniciados as pesquisas sobre as zonas úmidas do Brasil, ainda são poucos os trabalhos publicados sobre as zonas úmidas hipersalinas (De Medeiros e Camara, 1993; Souto et al., 2000; Costa et al., 2010; De Medeiros Rocha et al., 2012), ao passo em que outras zonas do planeta, estas zonas já são totalmente mapeadas e protegidas por uma legislação específica (e.g. Masero, 2003; Korovessis e Lekkas, 2009). Na Espanha, por exemplo, embora um inventário apropriado das zonas úmidas salinas esteja pendente, as autoridades regionais já começaram a realizar seus inventários de zonas úmidas próprias, incluindo as salinas (Huesco e Carrasco, 2009).

Na Espanha e em Portugal, atualmente foram delimitados 80 sítios do Ramsar (Ramsar, 2008). Destes, mais de um terço (38%) protegem algum tipo de zona úmida salina-hipersalina. É importante ressaltar que, no caso da Espanha, mais da metade dos sítios Ramsar dedicadas à proteção destas zonas são no interior (60%), a maioria dos quais são lagos e lagoas no centro e no leste do país. Em Portugal, no entanto, todos os cinco sítios Ramsar protegem zonas úmidas salinas localizadas na foz de rios importantes, onde existe a produção de sal por evaporação solar (Huesco e Carrasco, 2009).

Como será visto na discussão abaixo, em zonas úmidas salinas, em particular, sofrem ameaças que são comuns a outros ambientes inundados em geral, porém com algumas delas sendo específicos este tipo de ecossistema:

- Falta de conhecimento

Uma das ameaças mais importantes é a falta de conhecimento de sua existência e, portanto, seus valores naturais, culturais e até mesmo

econômicos. Isso é especialmente verdade no caso de zonas úmidas salinas, pois elas são únicas e desempenham funções ecológicas e valores específicas, que não são encontrados em outros tipos de zonas úmidas (Huesco e Carrasco, 2009).

- Abandono

O abandono das salinas de interior na Espanha está fortemente relacionado com o chamado êxodo rural, que teve seu auge durante a segunda metade do século 20, mas na verdade tinha começado décadas antes.

Em salinas costeiras como nas de interior, o abandono da produção de sal tradicional resultou no desaparecimento de valiosas comunidades halófilas, que estão sendo substituídas por espécies generalistas ou oportunistas de plantas ou animais, assim como uma diminuição da salinidade. Como resultado, esses ambientes são abandonados, iniciando-se uma sucessão ecológica para a degradação descontrolada (Carrasco e Hueso, 2006; Hueso e Carrasco, 2008a, 2008b).

- Agricultura e Irrigação Escoamento

Um efeito associado da intensificação da agricultura é, dependendo da quantidade de água utilizada, a eutrofização das zonas úmidas salinas ou salinização adicional de massas de água e/ou do solo (Guerrero & Wit, 1992).

Portanto, a conservação e gestão desses sistemas exigem o desenvolvimento de métodos, visando à compreensão e avaliação de habitats e na definição de *stocks* de nutrientes em cada tanque, bem como o seu relacionamento com a composição de espécies e diversidade (Possingham et al., 2001; Stein e Ambrósio, 1998; Ortega et al., 2004).

1.2 – Enquadramento da área de estudo

As salinas solares brasileiras, assim como em outras partes do globo, constituem ecossistemas artificiais explorados para a extração de sal marinho. Estes sistemas são composto por uma série de tanques rasos (20 – 200 cm) e interconectados, nos quais a água do mar/estuário é captada e transferida de um tanque para outro por gravidade ou por bombeamento. Ao longo desse circuito, esta água vai evaporando gradativamente, o que aumenta a saturação de sais até se atingir uma salmoura com saturação de 240 gL^{-1} de sais, já no estágio final de cristalização do cloreto de sódio (De Medeiros Rocha et al., 2011).

Esse fluxo da água ao longo dos vários tanques cria um gradiente com características físico-químicas estáveis, principalmente com relação à salinidade (Baudin, 1980; Britton e Johnson, 1987; Javor, 1989; Pedrós-Alió et al., 2000). A organização espacial dos tanques nas salinas e suas diferentes profundidades, necessários para o processo de produção do sal, favorece o desenvolvimento de um alto grau de heterogeneidade espacial, com vários microambientes (Evangelopoulos et al., 2008; López et al., 2010).

As salinas solares têm sido estudadas extensivamente ao longo do globo a nível de dinâmica dos processos ecológicos e características hidrogeoquímicas, principalmente na Estados Unidos, Austrália, Itália, China, Tunísia, Grécia, Espanha, Israel, México e Índia (Takekawa et al., 2006; Coleman, 2009; Giordano e Beardall, 2009; Huai-ke e Guan-qiang, 2009; Khemakhem et al., 2010; Korovessis e Lekkas, 2006; López et al., 2010; Oren et al., 2009; Ortiz-Milan e Davis, 2009; Rahaman et al., 2009). Todavia, as salinas brasileiras são muito pouco estudadas em nível de dinâmica dos processos ecológicos e mesmo as características hidrogeoquímicas das salmouras ainda não foram suficientemente caracterizadas (De Medeiros Rocha e Câmara, 1993; Souto et al., 2000; Costa et al., 2010).

Ao longo da linha de costa brasileira, apenas no litoral setentrional do estado do Rio Grande do Norte estão situadas as maiores empresas salineiras do país, principalmente nas margens dos seus estuários (**Fig. 6**). Essas salinas são

responsáveis por 97% do sal marinho produzido e exportado no país, influenciando diretamente nas economias locais e regionais através a geração de empregos e pagamento de impostos (De Medeiros Rocha et al., 2012).

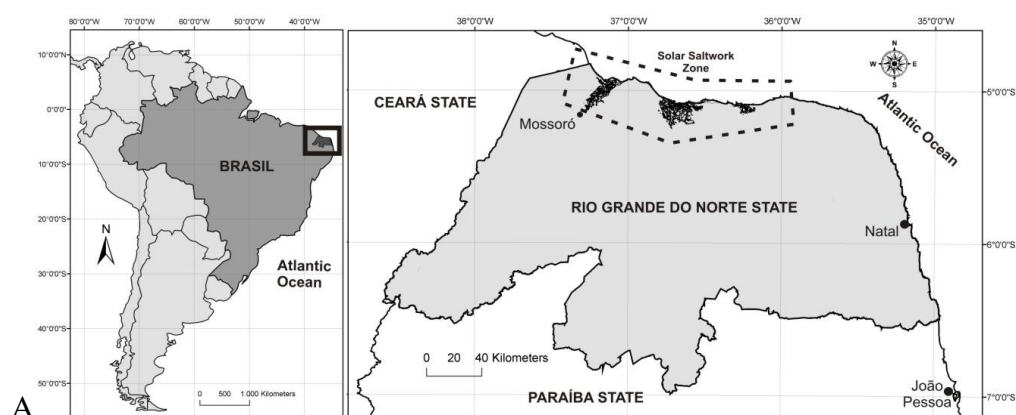


Figura 6 – Localização da zona salina no litoral semiárido do Brasil (A – Mapa de localização / B – Fotografia ilustrativa).

Fonte – A: mapa elaborado pelo autor; B: acervo do autor, retirada em Macau-RN.

A localização das salinas ao longo dos estuários dos principais rios nesse litoral se deve à conjuntura de fatores ambientais como clima semiárido, com altas temperaturas ($>28^{\circ}\text{C}$), baixa precipitação pluviométrica ($<800\text{ mm/ano}$) e altas taxas de evaporação, juntamente com a disponibilidade de água do estuário e extensas planícies hipersalinas. Devido a esses fatores climáticos, durante boa parte do ano (período de estiagem) os estuários se tornem negativos/hipersalinos (Margalef, 1974; Miranda et al., 2004), atingindo valores de salinidade acima de 45 ppm (Ramos e Silva, 2004; Silva et al., 2009), favorecendo assim as salinas com a captação de uma água já com elevada saturação de sais.

Em termos de nutrientes, suas concentrações em cada tanque podem variar consideravelmente em poucos dias, conforme exemplificado no trabalho de Joint et al. (2002) nas salinas de Santa Santa Pola, Alicante (Espanha). Esses nutrientes (nitrogênio e/ou fósforo) são muitas vezes oriundos de fertilizantes, vindo a atuar diretamente do desenvolvimento das comunidades microbianas bentônicas e planctônicas (Davis, 2000; Oren, 2009). Em relação ao carbono, os efeitos das suas altas concentrações na qualidade da salmoura ainda não são bem conhecidos (e.g. Davis e Giordano, 1996; Oren, 2000).

As concentrações desses nutrientes encontrados nas salinas dependem de características hidrodinâmicas, químicas (inclusive da coluna da água e qualidade dos sedimentos), e biológicas (Davis, 2000; Joint et al., 2002; López et al., 2010; Pedrós-Alió, 2004). Grande parte dessa carga de nutrientes na coluna d'água é oriunda de fontes externas, através da descarga de água doce de rios eutrofizados, nos quais as salinas fazem a captação, assim como de processos endógenos, como ressuspensão/remineralização do sedimento e águas de sedimento intersticial (De Medeiros Rocha e Câmara, 1993; Oren, 2009; Segal et al., 2009).

Contudo, o estudo das influências entre características físico-químicas e biológicas nas salmouras não apresentam apenas interesse científico: cianobactérias bentônicas que se desenvolvem nos tanques com salinidade intermediária efetivamente atuam impermeabilizando os tanques, evitando a infiltração e consequente perda de salmoura. O interesse neste tipo de pesquisa também repousa

na importância em se analisar a dinâmica de nutrientes ao longo do circuito de produção de sal por causa do seu alto potencial para o desenvolvimento do processo de eutrofização nestes ecossistemas (De Medeiros Rocha e Camara, 1993; Oren, 2009; Segal et al., 2009).

A presente dissertação pretende caracterizar as salinas solares brasileiras tanto do ponto de vista ecológico quanto geoquímico entre os diferentes habitats que compõem este ecossistema aquático ímpar. Será ainda investigada a hipótese de que as salinas solares são capazes de prover uma série de serviços ambientais. Portanto, tem-se como objetivo central desta investigação realizar a caracterização ecológica das salinas solares no litoral semiárido do Brasil, analisando-se os serviços ambientais prestados por estes importantes ecossistemas, assim como as potencialidades alternativas para a sua gestão.

Neste trabalho também se propõe avaliar a relação área inundada/volume de água necessários à produção de sal marinho. A justificativa deste item vem da afirmativa de que a atividade humana se apossa, direta e indiretamente, dos serviços da natureza através da apropriação dos recursos renováveis, extração de recursos não-renováveis, absorção de rejeitos, ocupação do solo, depleção de recursos hídricos, etc. (Van Bellen, 2006). Portanto, a pesquisa em questão se concentrou nos cinco pontos levantados acima, onde pretende-se avaliar se o tamanho da área requerida pela atividade salineira pode depender da sua posição geográfica ao longo do estuário.

Assim, poderão ser adaptadas estratégias do manejo da salmoura, de forma a se obter o máximo de proveito do sistema biológico da salina, o qual é responsável por um melhoramento considerável da produção (e.g. redução do tempo de retenção da salmoura nos tanques = diminuição do tempo de produção) (Davis, 2000, 2009). Portanto, a partir deste trabalho serão traçadas estratégias de análise de possíveis modificações ambientais nos ecossistemas e extrapolar os cenários a serem obtidos para investigações em outras salinas, contribuindo para a tomada de decisões sobre as prioridades de conservação e o uso sustentável do estuário. Por fim, esta proposta contribuirá diretamente com a capacitação de recursos humanos

aptos para atuarem na análise dos principais fatores e processos envolvidos com a problemática ambiental de qualidade da água em salinas solares do litoral semiárido.

Como resultados imediatos, será demonstrado este serviço ambiental prestado pelas salinas na manutenção da qualidade ecológica dos ecossistemas costeiros, elaborando-se estratégias de manejo das salmouras, onde os cenários encontrados poderão ser extrapolados e adaptados para outras salinas em zonas tropicais. Esses dados se somarão às escassas informações sobre dos ambientes hipersalinos, vindo a contribuir directamente na gestão da principal actividade económica desenvolvida nessas áreas em todo o mundo que é a extracção de sal marinho.

1.3 - Objectivos

Esta investigação teve como objetivo principal realizar a caracterização das salinas solares brasileiras, identificando-se os principais serviços ambientais prestados por esses importantes ecossistemas. Através de uma estratégia integrada entre critérios físicos, químicos e biológicos, esta abordagem permitirá: **1)** a flexibilização na adoção de parâmetros de qualidade, adequando-os às especificidades locais e **2)** a aplicação de modelos conceituais que promovam a compreensão dos serviços ambientais investigados. Para tal, foram traçados os seguintes objetivos específicos:

- Caracterizar os aspectos históricos e a sustentabilidade ambiental da instalação de salinas na zona estuarina.
- Adotar uma abordagem ecossistêmica para a classificação desses corpos de água superficiais (salinas solares), permitindo a possibilidade de flexibilização na adoção de parâmetros e padrões de qualidade, adequando-os às especificidades locais.
- Caracterização do ambiente químico sedimentar nas margens do estuário e em duas salinas solares.
- Caracterização da variação nictimeral de parâmetros limnológicos em uma salina solar.
- Identificar os principais serviços ambientais prestados pelas salinas solares tropicais.
- Traçar estratégias de análise de possíveis modificações ambientais nos ecossistemas e extrapolar os cenários a serem obtidos para investigações em outras salinas.

Esta dissertação tem por base os seguintes artigos:

1. Costa, D.F.S.; Lucena Filho, M.A.; Adailson da Silva, A.; De Medeiros Rocha, R.; Lillebø, A. I.; Soares, A. M.V. M. Breve revisão sobre a evolução histórica da atividade salineira no estado do Rio Grande do Norte (Brasil). (*Aceito na Rev. Sociedade & Natureza, Brasil, conceito CAPES A2*).
2. Characterization and ecological importance of the Brazilian solar salt work ponds: a review (*a submeter*).
3. Influência de macroaspectos ambientais na produção de sal marinho no litoral semiárido do Brasil (*a submeter*).
4. Costa, D.F.S.; Candido, G.; De Medeiros Rocha, R.; Lillebø, A. I.; Soares, A. M.V. M. Geographical location and solar salt production: strategies adopted on the Apodi-Mossoró hypersaline estuary. (*Submetido a Revista Mercator, Brasil, conceito CAPES A2*).
5. Costa, D.F.S.; De Medeiros Rocha, R.; Lillebø, A. I.; Soares, A. M.V. M. Multifactorial analysis of the geochemical characterization in a Brazilian hypersaline floodplain. (*Submetido a Braz. J. Aquatic Sci. and Technology, Brasil, conceito CAPES B1*).
6. Brazilian solar saltworks ecosystems: nictemeral dynamic of limnological parameters in these unique wetlands (*em preparação*).
7. Integrating ecosystem services with the DPSIR framework in tropical solar salt works (*a submeter*).
8. De Medeiros Rocha, R.; Costa, D.F.S.; Lucena-Filho, M.A.; Bezerra, R.M.; Medeiros, D.H.M.; Azevedo-Silva, A.M.; Lauro Xavier-Filho, L. Brazilian solar saltworks – ancient uses and future possibilities. *Saline Systems*. (*Publicado*).

**CAPÍTULO 2 - EVOLUÇÃO HISTÓRICA E INFLUÊNCIA DAS
CARACTERÍSTICAS AMBIENTAIS NA PRODUÇÃO
DE SAL NO LITORAL SEMIÁRIDO DO BRASIL**

CAPÍTULO 2 - EVOLUÇÃO HISTÓRICA E INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS AMBIENTAIS NA PRODUÇÃO DE SAL NO LITORAL SEMIÁRIDO DO BRASIL

2.1 - Evolução histórica da atividade salineira no estado do Rio Grande do Norte (Brasil)

As salinas têm sido utilizadas pelo homem há milênios, onde as primeiras referências sobre a extração de sal a partir da água do mar foram da China, durante a dinastia do Imperador Huang, há 2.500 a.C. O procedimento usado era o mesmo utilizado nas salinas tradicionais de algumas partes da África, América do Sul e Oceania, consistindo em represar a água do mar em diques de argila e aguardar a precipitação de sal, com uma predominância de NaCl e alto conteúdo de sais de cálcio, magnésio, etc. (Baas-Becking, 1931). Atualmente, as salinas solares brasileiras constituem ecossistemas artificiais de supramaré explorados para a extração de sal marinho. Este sistema é composto por uma série de tanques rasos (20 – 200 cm) e interconectados, nos quais a água do mar/estuário é captada e transferida de um tanque para outro por gravidade ou por bombeamento. Ao longo desse circuito, esta água vai evaporando gradativamente, o que aumenta a saturação de sais até se atingir uma salmoura com saturação de 240 gL^{-1} de sais, já no estágio final de cristalização do cloreto de sódio (De Medeiros Rocha, 2011).

As salinas solares têm sido estudadas extensivamente ao longo do globo, com ênfase na Austrália, França, Grécia, Índia, Itália, Israel, México, Espanha e outros países (Oren, 2009). Todavia, as salinas brasileiras são muito pouco estudadas em nível de dinâmica dos processos ecológicos e mesmo as características hidrogeoquímicas das salmouras ainda não foram suficientemente caracterizadas (De Medeiros Rocha e Câmara, 1993; Souto et al., 2000; Costa et al., 2011; De Medeiros Rocha, 2011).

Ao longo da linha de costa brasileira (aproximadamente 9.198 km de extensão), apenas no litoral setentrional do Estado do Rio Grande do Norte estão

situadas as maiores empresas salineiras do país, principalmente nas margens dos seus estuários. Estas salinas produzem a 97% parte do sal marinho consumido e exportado no país, influenciando diretamente nas economias locais e regionais, principalmente através da geração de empregos e pagamento de impostos (De Medeiros Rocha et al., 2012).

Embora a atividade salineira represente um item estratégico na pauta mineral-industrial do país, evidencia-se a necessidade de se destacar quais os fatos históricos que proporcionaram esta relevância, os quais foram responsáveis por toda uma dinâmica sócioeconômica dessa atividade ao longo do tempo, desde a colonização da América portuguesa até o presente momento. Nesse sentido, esta pesquisa não se trata de uma revisão pormenorizada da atividade salineira ao longo da história do Brasil, mas, sim, de uma tentativa de elencar alguns dos principais eventos históricos que marcaram a evolução dessa atividade durante o período em que o território hoje correspondente ao Brasil fazia parte do Império colonial português (1500-1815), além da época em que constituiu um Império baseado no sistema monárquico (1822-1889) e, posteriormente, nação independente com sistema político assentado no regime republicano (de 1889 até os dias de hoje), com enfoque direcionado ao principal produtor nacional da contemporaneidade, o Estado do Rio Grande do Norte.

2.1.1 Evolução histórica da extração de sal marinho no Brasil

O Brasil sempre foi estudado por naturalistas viajantes (e.g. Alexander von Humboldt, 1769-1859; Augustin François César Prouvençal de Saint-Hilaire, 1779-1853; Carl Friedrich Philipp von Martius, 1794 – 1868; Johann Baptiste von Spix, 1781-1826) com diferentes formações e visões de mundo, que cruzavam o Atlântico para estudar in loco o Novo Mundo, os quais, no decurso de suas viagens, escreveram longos relatos sobre os lugares que visitavam, cuja leitura crítica nos permite inferir em muitos campos, como o da ciência e o da etnografia

(Vita et al., 2007). Nas crônicas de viagens, os naturalistas registravam a descrição geográfica das regiões que percorriam, incluindo a localização precisa e o tipo de terreno, descrevendo, também, os tipos humanos que encontravam, as populações, os plantios e as explorações que empreendiam onde quer que estivessem (Filgueiras, 1995).

A história do sal no Brasil está entrelaçada diretamente com o período da colonização portuguesa (Cascudo, 1955; Carvalho Júnior e Felipe, 1982; Andrade, 1995; Katinsky, 1995; Trindade e Albuquerque, 2005; Vita et al., 2007; Santos, 2010). Quando da chegada dos primeiros exploradores em terras brasileiras, estes não faziam a mínima ideia da ocorrência natural de sal marinho; assim, todo o sal que utilizavam teria que ser trazido de suas terras de origem, da mesma forma como qualquer outra mercadoria que eles precisassem e não a tivessem disponível (Andrade, 1995).

Ao contrário da prática atual, em que o maior uso do cloreto de sódio se destina à indústria química, com mais de 14.000 usos conhecidos (Melo et al., 2008), na época da colonização este mineral servia principalmente para alimentação humana e dos bois e cavalos, além da preparação do charque pelo salgamento da carne bovina e seca sob o sol. Não se pode esquecer da importância do sal como matéria prima na Europa, especialmente para a expressiva produção de bacalhau, arenque e outros peixes que eram importantes nas economias de Portugal, Holanda e dos países escandinavos (Feinberg, 1989; Almeida, 2005).

Trindade e Albuquerque (2005, p. 46), em suas “Notas Econômicas do Século XX”, mencionam que “durante os períodos de colônia e império, a economia do Rio Grande do Norte era impulsionada pelos setores agro-pecuário e extrativo, com destaque para o sal, o algodão, o açúcar, a mandioca, a criação de bovinos, ovinos, caprinos e muares, a cera de carnaúba, etc”. Especificamente no caso do sal marinho, Andrade (1995) comenta que, na metade final do século XVI, começaram a ser descobertas grandes salinas naturais que se formaram sem qualquer intervenção do homem. Estas salinas estavam situadas ao longo da costa da capitania do Rio Grande (atual Estado do Rio Grande do Norte e parte do atual

Estado do Ceará), formando-se em grandes várzeas onde a água do mar naturalmente era represada e cristalizava-se naturalmente.

Em 1603, Pero Coelho de Souza, o primeiro Capitão-Mor designado para a capitania do Ceará, junto com sua mulher dona Tomazia, seus cinco filhos, um índio chamado Gonçalo e 18 ‘soldados mancos’, viajando a pé, abandonando a tentativa de colonizar o Ceará, atravessaram as salinas do Rio Grande (do Norte), passando inclusive pelas áreas que chamou de ‘Água-amargosa’ e ‘Água-maré’, respectivamente Macau e Guamaré. Com ajuda dos índios potiguaras, ele “fez uma cartografia identificando as fozes dos rios de Pernambuco ao Maranhão, descrevendo todos os seus portos, barras, serras e rios, com suas nascentes.” Ao chegar no Forte dos Reis Magos, Pero Coelho fez relatos precisos das salinas ali existentes”. [...] Entre o Rio Ceará Mirim e o Rio Açu, era um deserto e cheio de areias [...] que não há outra coisa de proveito mais que as salinas de Guamaré ou Carauratama, que são de importância, a respeito de muito sal que podem nela carregar-se como nas raías das índias de Castela...”. (Moura, 2003, p. 82).

O autor ressalta que “em 20 de agosto de 1605, Jerônimo de Albuquerque (Capitão-mor da Capitania do Rio Grande) concedeu um pedaço de terra aos seus filhos Antônio e Matias, no qual incluíam as terras onde estavam as salinas da região entre Caiçara (atual zona salineira de Guamaré) e Macau, principalmente duas salinas em Guamaré, as primeiras a serem exploradas:

‘Jerônimo de Albuquerque deu a Antônio e Mathias d’ Albuquerque, seus filhos, em trinta de agosto de seiscentos e cinco, duas salinas que estão há quarenta léguas daqui para a banda do norte, não cultivadas nem feitas benfeitorias, nem a terra serve para coisa nenhuma, a não ser o sal que por si próprio se cria. [...] Nessas salinas, se coalha o sal em tanta quantidade

que podem carregar grandes embarcações todos os anos, porque assim como se tira um, se coalha e cresce continuamente outro'. [...]. Até aquele momento, as salinas naturais se encontravam inexploradas' [...] 'Faz-se no Brasil sal em salinas naturais, como em Cabo Frio (RJ) e Rio Grande, onde se acha coalhado em grandes pedras e mui alvo'. (Moura, 2003, p. 183).

Cascudo (1955, p. 57) e Santos (2010, p. 295) comentam que, já em 1607 havia exportação do sal para o Sul. “[...] As salinas de Mossoró, litoral de Areia Branca, Açú e Macau, começavam sua exploração ora a partir de 1802, marco inicial da exploração ordenada das salinas”. “O próprio D. João VI não recebeu mais carregamento de sal de Portugal e assinou a carta régia em 1801, que aboliu o monopólio lusitano sobre o sal brasileiro e determinava o carregamento de sal do Rio Grande do Norte para o Rio de Janeiro, Ilha de Santa Catarina e Rio grande do Sul. [...] Este fato resultou no aumento da produção e na expansão das salinas”.

A assinatura da Carta Régia foi uma decisão fundamental para o incremento da produção salineira, outrora sujeita ao exclusivismo metropolitano, como afirma Sousa (1988, p. 45),

“[...] com a liberação da exploração das salinas [...], Capitânias dotadas de jazidas naturais de sal marinho, dispuseram de alternativa para sair da estagnação [...] e dedicaram-se à produção e distribuição desse produto”. (Sousa, 1988, p. 45).

No decurso desse período, surgiu um grande interesse por parte dos holandeses que não eram produtores de sal como os portugueses e os espanhóis. Segundo Medeiros Filho (1998, 47), em 1630 “Adriano Verdonk, um espião holandês, num relatório dirigido ao Conselho Político do Brasil Holandês, afirmou que havia depósitos extensos e naturais de sal, “mais forte do que o espanhol e alvo como a neve” [...] “Estas salinas estão rentes com a praia e completamente cheias

de sal” [...] “Eram carregados barcos de sal de 45 a 50 toneladas, num lugar de 60 milhas para o norte onde as salinas eram abarrotadas de sal à beira-mar, e que era sal para encher mais de mil navios”.

Conforme comenta Moura (op. cit.), “em 2 de outubro de 1631, um índio chamado Marcial (ou Marciliano) apresentou-se na sede dos holandeses, em Recife, dizendo-se enviado do Rei Janduí (talvez se chamasse Drarug, o rei da tribo Janduí, do vale do Açu), propondo uma aliança e convidando-os para conhecerem aquelas terras, ‘em nome das tribos inimigas dos portugueses’. Passados apenas 10 dias da visita do tapuia Marcial, foi mandada uma expedição ao Rio Grande (do Norte), para reconhecer o apoio dos índios e descobrir os recursos da região. Esta expedição foi capitaneada por Albert Smient, o homem que fundou a huys der Woestyne (Casa do Deserto), na salina pequena, à distância de apenas 1 quilômetro do mar...’, no antigo Rio Guamaré”.

Passados dez anos do comentado no parágrafo anterior, “em 1641, os holandeses já estavam estabelecidos em Guamaré/Galinhos, quando foram descobertas várias outras salinas, inclusive as de Macau, que até então permaneciam intactas, conforme relatório de Gedeon Morris, feito em 14 de fevereiro daquele ano” (Moura, op. cit.). De forma enfática, o autor comenta que “além da preferência pelos engenhos de açúcar, os holandeses se dedicaram à exploração das salinas de Guamaré, Macau e Areia Branca”.

Somente após a retomada da Capitania do Rio Grande (1654), Andrade (op. cit), relata que, com a expulsão dos holandeses, os portugueses novamente passaram a dominar a produção de sal na região. Nesse período, houve um interesse maior por parte dos colonizadores, sesmeiros, pela exploração das salinas devido ao desenvolvimento da indústria da carne de charque, também chamada de carne seca ou carne do Ceará a qual seria abalada seriamente no final do século XVIII pela concorrência com a carne gaúcha e a grande seca de 1790, que praticamente dizimou o rebanho nordestino.

“Dominada a região, os sesmeiros se apossaram das terras produtoras de sal, e pouco a pouco foram compreendendo que

poderiam auferir maiores lucros, vendendo o gado abatido, sob a forma de charque, do que vendendo o gado vivo, transportado a pé [...]”. (Andrade, 1995, p.26).

Porém, por vários anos, o sal continuou a ser extraído de reservas naturais. Somente a partir da segunda metade do século XIX é que cresceram as demandas pelo produto para o curtimento de couros, a salga de peixes, carnes, produtos de consumo e comércio em geral entre vilas e povoados que surgiam (Carvalho Júnior e Felipe, 1982; Santos, 2010). Essas demandas em vários pontos da colônia levaram os primeiros colonizadores a construir pequenas salinas em alguns locais da costa do que hoje corresponde ao Nordeste de modo que esta demanda pudesse ser suprida, mas a produção salineira continuou a ser insuficiente para suprir uma demanda vertiginosamente crescente.

“Em Guamaré e Galinhos, também duas salinas, as quais já eram ‘conhecidas desde o tempo antigo’, foram descritas como Salina Pequena ou Guamaré e Salina Grande ou Canwaretama. A *Salina Pequena* ficava no final do Rio Guamaré, atual Cabilinho ou galinhos, que banha a cidade de Galinhos. Nessa salina se experimentou fazer sal com a manipulação das águas [...] introduziu por meio de um rego d’água na altura de 1,5 pé, e fez sal no espaço de três meses’, escreveu Albert Smient. Ali se fazia sal através do Braço do Aguamara, também conhecido de Riacho do cabelo, que atravessava aquela salina. Dali fizeram ‘regos’ e escoaram a água para os baixios, tendo o cuidado de fechá-los, pois ‘se não houver aí constantemente alguém que isto faça, nada se pode esperar com segurança desta salina, porque o sal já feito transvaza com a próxima maré e se reduz a nada’ (Moura, 2003, p. 184).

Eram salinas de pequeno porte, cuja produção somente era suficiente para o consumo das regiões em que se instalavam (Vita et al., 2007), mas segundo Andrade (1995), a construção de salinas se disseminou rapidamente no espaço que hoje corresponde à região Nordeste. Com o desenvolvimento desse processo de construção, passou-se a utilizar faixas de terras mais altas em relação ao nível da maré, surgindo os primeiros adventos tecnológicos, como por exemplo, os cata-ventos (processo rústico para bombear a água da maré para dentro dos cercos das salinas), que serviam para bombeamento e elevação da água. A importância da utilização de faixas mais altas do relevo é devida a eliminação de uma série de problemas que interferiam na produção (e.g. inundações acidentais pelas águas do mar nas mares de sizígia e/ou astronômicas), permitindo ainda, um controle direto do homem sobre as quantidades de água a serem utilizadas na produção (Carvalho Júnior e Felipe, 1982, p. 34).

De acordo com Katinsky (1995), Gabriel Soares de Souza, em sua obra *Tratado Descritivo do Brazil* (1587), já registrava a facilidade com que se poderia produzir sal abundantemente nas costas brasileiras, seguindo o mesmo processo usado em Portugal. Na metrópole, a extração do sal marinho remonta aos tempos da dominação romana (Almeida, 2005) e os portugueses encontraram duas grandes áreas propícias à exploração do sal marinho no Brasil. A primeira, que abrange o litoral nordestino compreendido desde o Rio Grande do Norte até o Maranhão. A segunda, localizada na região Sudeste, engloba Araruama e Cabo Frio, no Rio de Janeiro, com nítidas desvantagens naturais em relação à primeira (Andrade, 1995).

Inserido nesse quadro propício, o Rio Grande do Norte possui particularidades naturais que o dotaram para a produção do sal marinho frente as demais zonas produtivas do país, “como num processo coordenado da natureza em função desse tipo de indústria” (Fernandes, 1995, p.50), onde a combinação de diversos fatores naturais como relevo, clima, solo, ventos e elevada salinidade da água marinha nos estuários proporciona a obtenção do processo produtivo do sal via evaporação (Paiva Filho, 1987; Costa et al., 2010).

Como em Portugal, o sal marinho era produzido no Brasil pelo armazenamento de uma parte da água do mar em sucessivos compartimentos de diferentes dimensões. “Barragem” era chamado o primeiro compartimento, com área entre 1.000 e 3.000 m², onde entrava diretamente a água do mar. Com a ação do vento e do sol, na barragem a água começava a evaporar e daí era distribuída para os cercos, que eram espaços menores (600-1000 m²) com uma profundidade entre 80 cm e 100 cm. Depois dos cercos, a salmoura ainda passava pelo compartimento chamado “chocador”, que media entre 400 e 800 m². No último compartimento, o cristalizador, de 50 a 400 m², ocorria a precipitação do cloreto de sódio, que era recolhido com o uso de instrumentos rudimentares, castigando duramente o trabalhador (Katinsky, 1995; Neves, 2005).

É preciso lembrar que a coroa portuguesa ao contrário dos que aqui estavam, não queria o desenvolvimento das atividades de exploração do sal (Carmo Júnior, 2006). Tal afirmativa ficou nítida em 1665, com a primeira proibição do comércio do sal no Brasil.

“O sal marinho constituía monopólio da coroa, tendo sido um dos mais pesados e onerosos que a colônia teve de suportar, pois afetava um gênero de primeira necessidade, encarecendo-o consideravelmente. Para defender o monopólio e proteger a produção similar portuguesa, dificultava-se o mais possível a produção brasileira. Esta só se fazia contra obstáculos enormes e perseguições tenazes, se se manteve apesar disto, é que a falta de sal e seu preço bem como o abuso e desleixo das contratadores eram tais que a repressão ao contrabando se tornava difícil e de uma forma completa impossível” (Prado Júnior, 1976 apud Fernandes, 1995, p.30).

Contudo, com as ameaças que pairavam no ar feitas por Napoleão Bonaparte, em 24 de abril de 1801 – ano que é decretado o bloqueio continental a Portugal –, é expedido um alvará ampliado pelos os de 07 e 27 de abril de 1802 e

pelo de 30 de setembro de 1803, extinguindo o monopólio da metrópole sobre a colônia (Simonsen, 1977 apud Fernandes, 1995).

Com a chegada da família real portuguesa ao Brasil, em 1808, D. João VI passou a dar maiores incentivos à produção do sal, porém, limitando-se apenas ao consumo humano e animal. Novo impulso para a exploração comercial do sal viria em 1886, com a tributação do sal estrangeiro. O protecionismo deu ânimo à incipiente indústria salineira contribuindo para a sua expansão, “estendendo-se as salinas de Macau sobre vinte quilômetros de comprimento por quatro de largura” (A’rbocz, 1986, p. 6; Sousa, 2007).

Essa situação se estende até 1889, quando da instalação da República, estabelecendo-se um novo tipo de monopólio que viria a mudar o panorama político para a indústria de extração do sal no Rio Grande do Norte. Pelo decreto nº 10.413, de 26 de Outubro de 1889, a União concedeu em favor do Sr. Antônio Coelho Ribeiro Roma, pela empresa com sede no Rio de Janeiro, Companhia Nacional de Salinas Mossoró-Açu (CNS), o direito exclusivo à exploração dos terrenos devolutos compreendidos entre Areia Branca e Macau, por um prazo de 30 anos, fato que ficou conhecido como Concessão Roma (Carmo Júnior, 2006).

Esta empresa, valendo-se do seu direito adquirido com a Concessão Roma e dispondo de muito capital e embarcações, adquiriu por valores irrisórios as pequenas salinas existentes, não permitindo a existência de qualquer concorrência em sua área de exploração (Fernandes, 1995). Em sua instalação em Macau, nenhum imposto foi cobrado sobre o sal e, ainda, foi pedida ao Governo Federal, uma espécie de taxa que valorizasse o produto no mercado (Centenário, 1922 apud Moura, 2003; Carmo Júnior, 2006).

Esse monopólio adquirido trouxe, ao longo do tempo, uma série de conflitos de ordem política já que, com a República, houve uma consolidação do poder estadual frente ao poder federal (Carmo Júnior, 2006). Segundo Andrade (1995), esse poder federal era constituído por uma oligarquia, que, sob o comando de chefes políticos formados no período imperial, controlavam as eleições

estaduais, elegendo governadores, deputados e senadores. Essas lideranças políticas, naturalmente, almejavam o domínio de todas as atividades econômicas importantes, dentre elas o sal.

Em 1915, a Concessão Roma já não conseguia se sustentar no descumprimento de suas cláusulas, sendo anulada em 1920 (Carmo Júnior, 2006). Sua queda significou:

“[...] a ascensão de produtores potiguares como também possibilitou a entrada de outros grupos vindos do Rio de Janeiro e São Paulo [...]. A história desses grupos é caracterizada pela absorção de uns pelos outros, até a década de 1960, quando foram absorvidos em sua grande parte por grupos internacionais” (Fernandes, 1995, p.35).

De fato, a consolidação da indústria salineira potiguar só ocorreu no período que vai de 1930 ao final dos anos de 1950. A partir de então, o Rio Grande do Norte apresentou produção sempre superior a 50% da nacional, onde o município de Macau tornou-se o verdadeiro coração da indústria salineira brasileira (Andrade, 1995; Sousa, 2007).

Antes da chegada dos grupos estrangeiros – ocasionando o processo de desnacionalização das salinas do Rio Grande do Norte, ocorrido no período de 1969 a 1975 (Costa, 1993), é preciso compreender o ambiente político que propiciou tal fato (Carmo Júnior, 2006). Na década de 1950, o governo de Juscelino Kubitschek com sua política desenvolvimentista baseada na industrialização como forma de promover o crescimento econômico e atenuar as enormes diferenças sociais nas regiões Sudeste – que se desenvolvia avassaladoramente –, e o Nordeste – que despontava como uma das áreas mais pobres do mundo –, criou o Grupo de Trabalho para o Desenvolvimento do Nordeste (GTDN) (Sousa, 1988; Costa, 1993). O documento elaborado por este grupo resultou na criação de um organismo

para executar a política proposta que se chamou Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) (Carmo Júnior, op. cit.).

Em seu II Plano Diretor, que vingou de 1963 a 1965, a SUDENE enfatizou a implementação de indústria de grande porte, assim como, a modernização e dinamização de setores industriais já existentes, mas que operavam seguindo moldes artesanais, como era o caso das nossas salinas as quais, por motivos de ordem natural, davam sinais de dificuldades para abastecer o mercado consumidor interno (Carmo Júnior, op. cit.). Tal dificuldade era causada principalmente pelo fato da década de 1960 ser marcada pelo aumento do consumo de sal no País, notadamente graças ao desenvolvimento da indústria química, grande utilizadora deste produto como matéria-prima (Costa, 1993; Melo et al., 2008). De fato, como preconizava o Plano Diretor da SUDENE, assim ocorreu, porém com uma ressalva: os mecanismos de incentivos fiscais exclusivos às empresas nacionais foram estendidos aos investimentos de grupos estrangeiros, resultando, assim, num processo que culminou na desnacionalização, monopolização e extinção das pequenas salinas do Rio Grande do Norte, as quais foram incorporadas ao capital de grupos estrangeiros, financiados pelo próprio dinheiro nacional (Carmo Júnior, 2006).

Todas as empresas citadas, para atender às exigências da modernização, tiveram que utilizar os incentivos fiscais da SUDENE, [...]. A própria SUDENE facilitou a penetração das empresas multinacionais no Nordeste e as incentivou quando retirou do seu II Plano Diretor ‘a restrição de utilização pelas empresas de capital estrangeiro do mecanismo de dedução fiscal, antes somente permitida a empresas de capital cem por cento nacional’. Assim, os incentivos fiscais induziram os investimentos internacionais para a região Nordeste, facilitando, dessa forma, a penetração no parque salineiro potiguar (Sousa, 1988 apud Costa, 1993, p.29).

Segundo Carmo Júnior (2006), com a incorporação das pequenas empresas iniciada em 1968, a obtenção das melhores áreas salineiras e com a introdução da tecnologia ao processo, já no início da década de 1970, a maior parte

da produção de sal do Rio Grande do Norte estava sob o controle de 03 grandes grupos: o grupo Morton Norwich Products INC., americano, que passou a comandar as salinas Sosal e Guanabara; o grupo Akzo Zoult Chemie, holandês, que passou a comandar as salinas da Companhia Industrial do Rio Grande do Norte (CIRNE); e o grupo Nora Lage, italiano, que assumiu o controle das salinas da Henrique Lage (Costa, 1993).

“[...] o grande capital conseguiu, aproveitando-se da vulnerabilidade financeira de alguns pequenos e médios produtores, incorporar, através da compra de suas salinas, um maior número de área para cristalizadores, aumentando daí a sua produção e conseguindo em muitos casos a proletarização dos pequenos produtores que se viram despossuídos dos seus meios de produção”. (Carvalho Júnior, 1983, apud Costa, 1993, p.64).

Em resumo, Fernandes (1995) e Santos (2010) comentam que os primeiros anos da década de 1970 foram marcados pelo processo de modernização do parque salineiro do Estado, caracterizando-se sobretudo pela formação de grandes unidades produtoras, que vinham paralisando e abandonando as pequenas e médias salinas, com graves consequências sociais. Segundo Santos (2010, p. 294), “o desemprego era um dos grandes problemas da região. As terras salinas desativadas constituíam uma área de milhares de hectares que, depois, descobriram a possibilidade de sua utilização para a criação de camarão, a exemplo do que se fazia no Japão e em outros países”.

Nos dias atuais, pouco resta da produção salineira artesanal no RN, apenas algumas pequenas salinas que ainda se utilizam de pás e de carros-de-mão para realizar a colheita do sal, restritas apenas a pequenos núcleos nos municípios de Grossos (**Fig. 7**), Mossoró, Areia Branca e Guamaré. Além da importância para a economia local, estas áreas representam um patrimônio histórico, natural e arquitetônico ainda pouco reconhecido no país. Essa importância se traduz pelo fato

que nelas ainda são replicadas as técnicas de construção e gestão típica dos primórdios dessa atividade.



Figura 7 – Salina artesanal localizada no estuário do Rio Apodi-Mossoró (Grossos-RN).
Fonte – Acervo do autor.

Em termos quantitativos, realizou-se o levantamento da área atual ocupada pelas salinas artesanais no Estado do Rio Grande do Norte por meio de imagens do satélite de alta resolução espacial e inventário de campo entre de 2008, 2009 e 2010, ao longo de todo litoral setentrional. Para tal, foram coletados dados em campo com aparelho receptor de sinais GPS (Geko Garmin de 12 canais – código CA), os quais serviram de base para a análise e georreferenciamento das imagens do CBERS 2B, sensor HRC, com 2,5 metros de resolução espacial das seguintes áreas: a) Zona Estuarina do Rio Apodi-Mossoró - órbita 149 E, ponto 106-1, de 30/10/2009; b) Sistema Estuarino Piranhas-Açu - órbitas 148 B, C e D, pontos 106-1, de 24/02/2010, 23/02/2008 e 31/12/2008, respectivamente; c) Zona

Estuarina Galinhos-Guamaré - órbita 148 E, ponto 106-1, de 26/01/2009. Todo esse material foi analisado em ambiente de Sistema de Informação Geográfica, no software Spring 5.1.7 (Câmara et al., 1996).



Figura 8 – Fotografia aérea (2003) das salinas mecanizadas localizadas no estuário do Rio Apodi-Mossoró (RN).
Fonte – Acervo do autor.

De acordo com esse levantamento, verificou-se que atualmente estas salinas ocupam áreas situadas próximo da transição entre as planícies hipersalinas (ocupadas pelas grandes indústrias salineiras com áreas acima de 500 ha cada – **Fig. 8**) e o tabuleiro costeiro, captando água apenas através de canais de maré (gamboas) do estuário. Em termos de área, verificou-se que o maior núcleo de salinas artesanais encontra-se no município de Grossos-RN (782,0 ha), seguido do município de Mossoró-RN (55,2 ha), Areia Branca-RN (54,3 ha) e Guamaré (< 1 ha), respectivamente (Tab. 3).

Tab. 3 - Mapeamento das salinas artesanais do Estado do Rio Grande do Norte.

MUNICÍPIO DE AREIA BRANCA-RN		
Nome	Área (ha)	Localização
Salina Upanema	7,2	37°3'44,3'' W e 4°55'53,2'' S
-	10,1	37°8'20,4'' W e 5°2'42,0'' S
-	37,0	37°8'47,8'' W e 5°3'19,8'' S
Total	54,3	
MUNICÍPIO DE GROSSOS-RN		
Nome	Área (ha)	Localização
Salinas do Boi Morto	257,4	37°11'41,4'' W e 4°58'55,6'' S
Salinas dos Coqueiros	77,2	37°9'34,6'' W e 4°59'12,0'' S
Salinas do Córrego	447,4	37°10'32,7'' W e 4°56'55,3'' S
Total	782,0	
MUNICÍPIO DE MOSSORÓ-RN		
Nome	Área (ha)	Localização
Salinas Esperança	55,2	37°14'46,2' W e 5°2'8,0'' S
Total	55,2	
MUNICÍPIO DE GUAMARÉ-RN		
Nome	Área (ha)	Localização
-	< 1	37°14'46,2'' W e 5°7'26,9'' S
Total	< 1	

Com relação às grandes indústrias salineiras, desde a última década do século XX a maioria dessas salinas voltaram a ser adquiridas por empresas de capital nacional, sendo atualmente a extração de sal marinho uma das principais atividades econômicas de todo o litoral setentrional do Rio Grande do Norte. O parque salineiro do Estado é responsável por 97% da produção brasileira de sal marinho, sendo comercializado com vários Estados brasileiros e exportado

principalmente para os Estados Unidos, África e Europa (RIO GRANDE DO NORTE, 2003; SIESAL, 2010).

Em termos de matéria prima, atualmente no Brasil, a água do mar e/ou dos estuários é a principal fonte de produção de sal em pontos situados na área litorânea e que tenham condições climáticas e topográficas favoráveis, e economicamente rentáveis. Este é o caso das terras situadas no litoral setentrional potiguar, mais especificamente na zona estuarina do Rio Apodi-Mossoró, sistema estuarino Piranhas-Açu (Rio das Conchas, Rio dos Cavalos, Rio Piranhas-Açu e Rio da Conceição) e sistema estuarino Guamaré-Galinhos (Rio Aratuá, Rio Miaçaba, Rio Camurupim, Rio Guamaré, Rio Pisa Sal e Rio do Tomás).

2.1.2 Conclusão

De acordo com as referências históricas, verifica-se que os primeiros relatos da atividade salineira se deram já no início da colonização com a extração do sal das reservas naturais que se acumulavam junto nas zonas de supramaré. Este procedimento foi aperfeiçoado com a construção das pequenas salinas artesanais pelos portugueses, conforme técnicas usadas em outros pontos do Império Colonial Português (e.g. África, China, Índia). A evolução dessa atividade está entrelaçada diretamente com esse período da colonização, onde a sua descoberta das reservas naturais e posterior produção de sal nas salinas passou a impulsionar o desenvolvimento de outras atividades a ela relacionadas, configurando-se nesse período como uma das principais atividades econômicas desenvolvidas nas margens das desembocaduras dos principais rios do Rio Grande do Norte.

Com o aumento da demanda pelos mercados consumidores, as salinas de pequeno porte passaram a ser construídas ao longo de várias áreas da atual região Nordeste, já com o uso das primeiras tecnologias e métodos de produção (e.g. cata-ventos e diques para produção de sal em zonas mais elevadas topograficamente). Com o advento no Brasil da política desenvolvimentista baseada na industrialização (século XIX), veio a implementação de uma indústria salineira de grande porte, com

a modernização e dinamização de setores industriais para atender às elevadas demandas geradas pelo crescimento da indústria química, grande utilizadora deste produto como matéria-prima.

É necessário frisar que a maior parte das salinas foram implantadas efetivamente nas áreas onde ocorria naturalmente o processo de formação natural do cloreto de sódio, através da evaporação solar nas planícies hipersalinas onde as águas das marés ficavam acumuladas. Em termos econômicos e de reduzido impacto ambiental, as salinas podem ser consideradas a única alternativa para a ocupação dessas planícies, uma vez que evaporação natural da água do mar implica na constante precipitação de sais (CaCO_4 , NaCl , MgCl_2 , NaBr , entre outros) na superfície do solo (Oren, 2002), acarretando em um processo de salinização natural. Estes sais, em virtude do longo período de evaporação, ficam retidos no solo em forma de diversas camadas (de acordo com os ciclos de precipitação), onde a inundação destas áreas apenas veio a proporcionar o controle/manejo da evaporação da salmoura, possibilitando a extração de uma maior quantidade de sais cristalizados na superfície.

Entre as várias vulnerabilidades econômicas, a atividade salineira é fortemente sensível as variações climáticas, onde uma longa estiagem (que nessa região do Brasil pode durar até 5 anos), pode ocasionar uma superprodução. Esse processo tem como resultado imediato a geração de preços incompatíveis com os custos realizados, em virtude de uma maior oferta do produto. Todavia, a indústria salineira do Rio Grande do Norte vem passando por um processo gradativo de modernização, que exige um produto cada vez mais competitivo no mercado nacional e internacional. Esse processo de modernização é principalmente voltado para a obtenção de um maior grau de pureza e qualidade do sal marinho produzido, aliada com a preocupação em se obter um produto que seja fruto de um manejo biológico adequado e em respeito às normas ambientais vigentes no país.

2.2 - Influência de macroaspectos ambientais na produção de sal marinho no litoral semiárido do Brasil

Ao longo da linha de costa brasileira (aproximadamente 8.698 Km de extensão - Muehe, 2005), apenas no litoral setentrional do Estado do Rio Grande do Norte (244 km de extensão – Vital, 2005) estão situadas as maiores empresas salineiras do país (**Fig. 9**), principalmente nas margens dos seus estuários (Costa et al., 2010). Estas salinas produzem 97% do sal marinho consumido e exportado pelo Brasil, influenciando diretamente nas economias locais e regionais, principalmente através da geração de empregos e pagamento de impostos (De Medeiros Rocha et al., 2009, 2012). Todavia, embora a atividade salineira represente um item estratégico na pauta mineral-industrial do país, evidencia-se a necessidade de se destacar quais os macroaspectos geográficos/ambientais responsáveis por essa hegemonia das salinas e permitiram a atual configuração dos parques salineiros do Rio Grande do Norte.

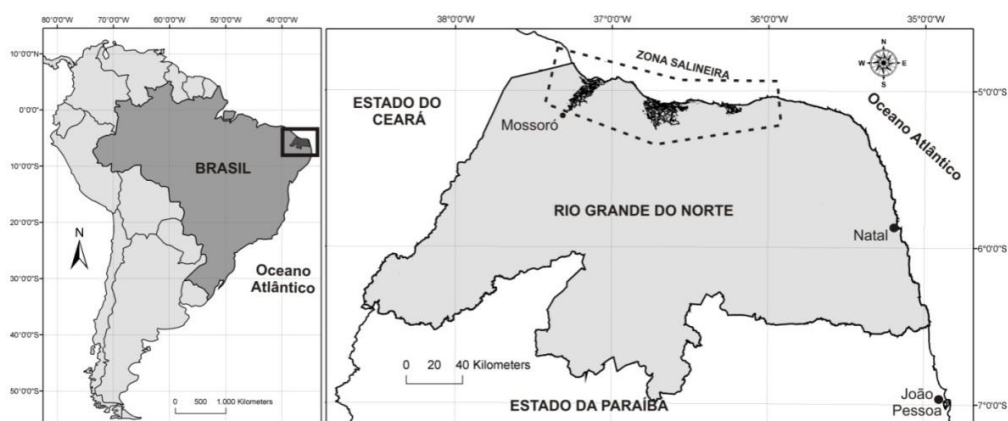


Figura 9 - Localização da atual zona salineira no Estado do Rio Grande do Norte.

Fonte – Elaborado pelo autor.

Por outro lado, esses corpos d'água ainda funcionam como complexos ecossistemas artificiais, principalmente no que concerne a sua estrutura,

funcionamento e evolução (De Medeiros Rocha *et al.*, 2012; Koroivessis e Lekas, 2009; Oren, 2009). Assim, sob a perspectiva da funcionalidade integrativa entre as características do ecossistema das salinas e do sistema econômico no qual ela está inserida, a análise dos aspectos determinantes na produção tornou-se de fundamental importância para se entender a dinâmica de uso e ocupação do litoral semiárido brasileiro.

Nesse trecho litorâneo, as salinas surgiram como uma das unidades mais presentes na paisagem encontrada nas margens dos estuários (Costa *et al.*, 2012; Costa, 2010; Amaro *et al.*, 2005; Ferreira *et al.*, 2005; Melo *et al.*, 2005), onde o seu funcionamento está expressamente relacionado com a variável espacial (Costa, 2010; Koroivessis e Lekas, 2009). Portanto, as salinas representam um componente paisagístico predominante nessas regiões estuarinas, evidenciando-se a combinação de elementos que propiciam a auto-organização da paisagem ao longo da zona costeira.

Dessa maneira, o presente trabalho analisa os principais macroaspectos ambientais (geomorfologia, tipo de solo e clima) que influenciam diretamente no processo de produção de sal marinho no litoral semiárido do Brasil, os quais são em parte responsáveis pela hegemonia sua no cenário nacional de produção. Tais elementos estão denominados como macroaspectos em função da sua ampla abrangência no território e até mesmo dos subfatores a eles relacionados, porém determinados apenas em uma escala local (Christofolletti, 1999). Ainda em relação à esses macroaspectos na ótica deste trabalho, salienta-se a necessidade em se analisar primeiramente o relevo como elemento de suporte para a construção das salinas, porém às informações geomorfológicas agregam-se as características pedológicas e climáticas que, dessa forma, propiciam uma compreeção da conjuntura e sinergismo de fatores que proporcionam a elevada produção de sal marinho na área analisada.

2.2.1 Litoral semiárido e as zonas salineiras

Geomorfologia

Alguns dos primeiros estudos sobre as planícies hipersalinas se deram com a descoberta de faciologias evaporíticas costeiras na Costa Trucial do Golfo da Pérsia (Curtis et al., 1963), atual território dos Emirados Árabes Unidos. Por definição, evaporito é todo depósito constituído por rocha sedimentar química que se formou por precipitação na água, em função da evaporação em ambiente salino. Nesses sistemas, os sais dissolvidos precipitam-se em uma ordem definida e fracionada (**Fig. 1**), os menos solúveis primeiro, onde a gipsita (sulfato de cálcio hidratado - $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) é o primeiro a se precipitar em grandes quantidades, seguindo-se da anidrita (sulfato de cálcio - CaSO_4) e da halita (cloreto de sódio - NaCl), entre outros minerais (Copeland, 1967; Oren, 2002).

Essas planícies são zonas de supramaré essencialmente de baixo aporte de sedimentos clásticos, com altas taxas de evaporação e formação natural de crostas de sais (evaporitos/rochas sedimentares químicas), sendo denominadas primeiramente pelos árabes como "*sabkhas*" (*salt flats* em inglês) (Kendall, 1984; Kendall e Harwood, 1996). Tais ambientes estão propensos à inundações periódicas e deposição evaporítica, dominada por carbonatos, halitas e/ou sulfatos, podendo ocorrer em zonas interiores ou costeiras. São comuns em áreas costeiras de regiões áridas com topografia plana, desenvolvendo-se em resposta a duas condições ambientais: a deflação de sedimentos de superfície, acumulação de sedimentos em uma lagoa/depressão, ou por uma combinação de ambos processos (Evans, 1970; Al Farraj, 2005).

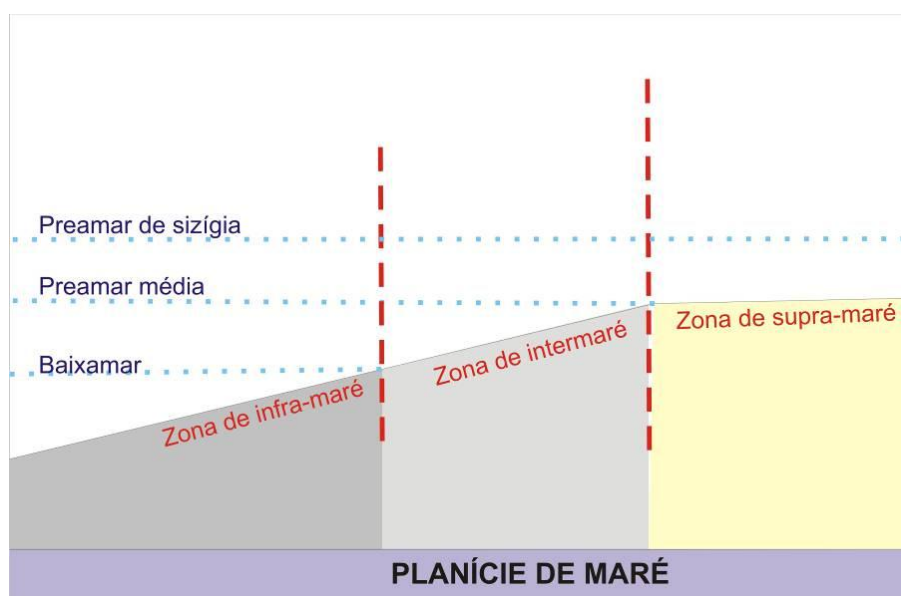


Figura 10 – Perfil das diferentes zonas identificadas nas planícies de maré.
 Fonte – Elaborado pelos autores a partir dos descritos em Suguiu (1973).

Nestas áreas, a cota topográfica é mais elevada em relação às áreas de infra e meso maré onde os manguezais são encontrados (**Fig. 10**), sendo superfícies planas suavemente inclinadas, com altitude de 0 a 2 metros em relação ao nível das águas estuarinas, inundadas apenas em períodos de cheias anuais (descarga fluvial) e nas marés de sizígia. Às margens dos leitos atuais e/ou no interior em forma de ilhas, sua origem está relacionada com o assoreamento (natural) das áreas de intermarés, atualmente sujeitas à dinâmica flúviomarinha, transbordamentos dos canais durante as cheias e as grandes marés, sendo constituída principalmente por depósitos aluviais de sedimentos argilo-arenosos não consolidados (Suguiu, 1973; Amaro, 2004). Apenas a vegetação herbácea halófito (campo salino - IBGE, 1992) é identificada nestas áreas (Costa, 2010), uma vez que a vegetação de mangue não suporta o elevado teor de sais do solo (Duke et al., 1998; Lovelock et al., 2009; Costa, 2010; Costa et al., 2012).

Solo

Desde a publicação de Curtis et al. (1963), a Costa Trucial (Emirados Árabes Unidos), a Península de Qatar e a Baja Califórnia tornaram-se áreas clássicas para o estudo da formação de evaporitos em planícies hipersalinas. Essas zonas assumiram um relevante interesse econômico em virtude dessa associação de fácies sedimentares tais como esteiras algálicas formadas na região intermaré, nódulos e estruturas enterolíticas de sulfato de cálcio, tanto gipsita como anidrita, além dos cubos de halita característico da zona de supramaré, sendo todas evidências para a identificação de um ambiente do tipo “*sabkha*” (Silva *et al.*, 2000), além de serem importantes para o início da formação do petróleo (Al Farraj, 2005).

No Brasil, esses ambientes foram descritos apenas no litoral do estado de Sergipe e Rio de Janeiro (Kjerfve et al., 1996; Silva et al., 2000), porém ocorrem em grandes áreas dos estados do Rio Grande do Norte e Ceará, conforme atestam algumas pesquisas sobre solos hipersalinos (Gleissolo sálico – EMBRAPA, 1999/Solonchaks – FAO, 2006) nestes estados (e.g. Moreira et al., 1989; Mendes et al., 2008; Costa, 2010; Costa et al., 2012) (**Fig. 11**). Estas áreas assumiram especial importância desde a colonização do Brasil, sendo ocupadas para construção de salinas solares (Vita et al., 2007; Costa et al., 2012), principalmente em virtude das características específicas desse tipo de solo, como alta salinidade e impermeabilidade (Kendall e; Harwood, 1996; Guo et al., 2006).

De acordo com as referências históricas (e.g. VITA *et al.*, 2007; SANTOS, 2010; COSTA *et al.*, 2012), verifica-se que os primeiros relatos da atividade salineira se deram já no início da colonização, com a extração do sal marinho das reservas naturais que se acumulavam nas zonas de supramaré. Este procedimento foi aperfeiçoado com a construção das pequenas salinas artesanais pelos portugueses, conforme técnicas usadas em outros pontos do Império Colonial Português (e.g. África, China, Índia).



Figura 11 - Típicos ambientes evaporíticos costeiros em planícies hipersalinas (Município de Porto do Mangue-RN). Fonte – Acervo dos autores.

A evolução dessa atividade está entrelaçada diretamente com esse período da colonização, onde a descoberta das reservas naturais e posterior produção de sal nas salinas passaram a impulsionar o desenvolvimento de outras atividades a ela relacionadas, configurando-se nesse período como uma das principais atividades econômicas desenvolvidas nas margens das desembocaduras dos rios do Rio Grande do Norte (COSTA et al., 2012).

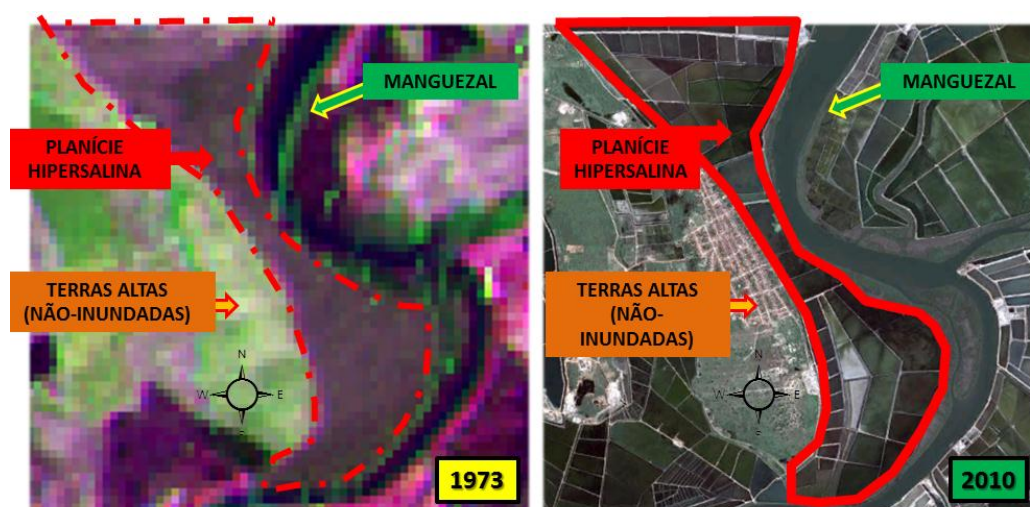


Figura 12 - Planície de supramaré (1973)², situada à leste da cidade de Grossos-RN, ocupada ao longo do tempo por salinas (2010)³. Fonte – Elaborado pelo autor.

É necessário frisar que a maior parte das salinas foi historicamente construída efetivamente nas áreas onde ocorria naturalmente o processo de formação natural do cloreto de sódio, ou seja, através da evaporação da água das marés acumulada nas suaves depressões das planícies hipersalinas (*sabkha*, *salt flat* ou deserto salino) (Fig. 12).

Estes solos são de caráter alcalino ($\text{pH} > 8,0$), apresentando um horizonte sálico (1:1 em água), com $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$, caracterizado por uma saturação de sódio ($100\text{Na}^+/\text{CTC}$) maior ou igual a 15% em alguma época do ano (condutividade elétrica no extrato de saturação maior ou igual a 7 dS/m, a 25°C), sendo largamente limitados a zonas de clima árido e semiárido e regiões costeiras (EMBRAPA, 1999; FAO, 2006). Essa descrição é claramente identificada nas zonas de supramaré das planícies de inundação flúvio-marinha encontradas no

² Imagem do satélite LANDSAT 1/Sensor MSS/Órbita 231/Ponto 064/Composição R5G7B4, de 06 de outubro de 1973, obtida no INPE.

³ Imagem do satélite Geoeye de 14 de janeiro de 2011, retirada do *Software Google Earth*, em 17 de janeiro de 2012.

litoral semiárido brasileiro, onde as salinas foram construídas, sendo submetidas à inundações sazonais de marés com alturas até 3,80 metros.

Clima

Em termos climáticos, o litoral semiárido brasileiro abrange um território a partir do limite leste do Ceará e todo o litoral setentrional do Estado do Rio Grande do Norte (**Fig. 13**). Este trecho litorâneo da Região Nordeste encontra-se sob influência do clima tropical quente e seco ou semiárido (Nimer, 1989), apresentando uma distribuição das precipitações irregular e concentrada entre o verão e o outono (fevereiro a junho), com uma longa e pronunciada estação seca (~ 8 meses), cuja pluviosidade média anual ($< 1.250 \text{ mm.ano}^{-1}$) é inferior à evapotranspiração potencial da região ($1.500 - 1.600 \text{ mm.ano}^{-1}$). Devido a esses fatores, durante a maior parte do ano (período de estiagem – abril à dezembro) os estuários dessa zona litorânea se tornam hipersalinos, atingindo valores de salinidade acima de 45 ppm (Miranda *et al.*, 2002; Silva, 2004; Silva *et al.*, 2009).

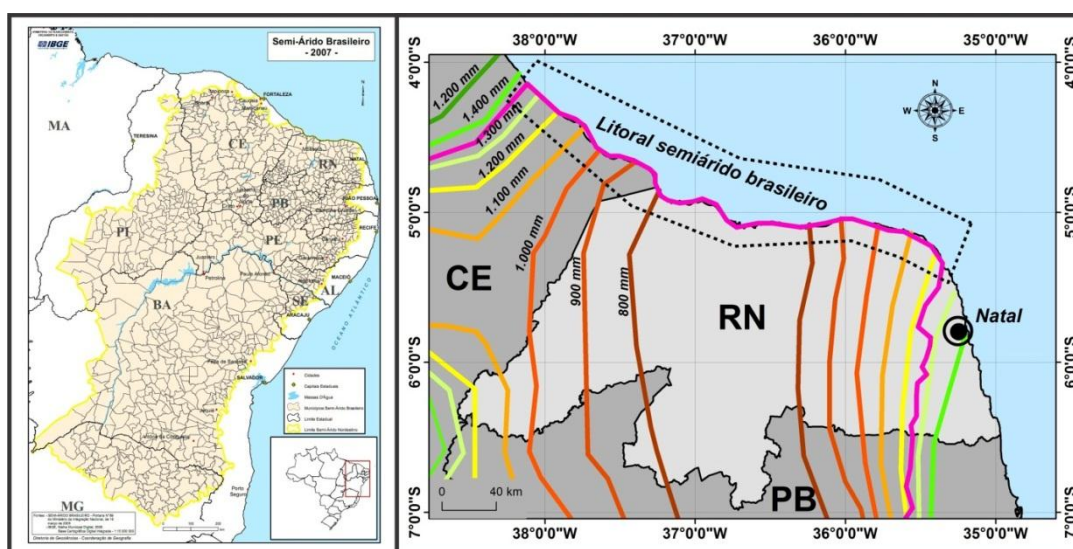


Figura 13 - Localização do litoral semiárido do Brasil (adaptado de IBGE, 2007).

Considerando a salinidade (da água ou do sedimento) como uma das variáveis estratégicas para a localização ideal de se construir uma salina, Silva (2004) e Silva *et al.* (2009) caracterizam os estuários situados no litoral semiárido como “estuários negativos ou hipersalinos” (Margaleff, 1973; Miranda *et al.*, 2002). Segundo esses autores, em consequência das condições climáticas locais, as taxas de evapotranspiração potencial nas bacias de drenagem dos rios são maiores do que a precipitação, assim como as taxas de escoamento superficial são praticamente desprezíveis. Somando-se com a intensa evaporação diária (5 cm/m^3), ventos constantes e altas temperaturas ($> 30^\circ\text{C}$) durante a maior parte do ano, estes estuários se tornam hipersalinos, podendo-se encontrar valores até aproximadamente duas vezes acima da salinidade encontrada no mar (36 g.L^{-1}) nas zonas do alto estuário. Dessa maneira, o corpo d’água funciona como um evaporador natural das águas, beneficiando as salinas que já captam a água com um elevado teor de saturação de sais.

Nesse sentido, Silva (*op. cit.*) e Silva *et al.* (*op. cit.*) identificaram a formação de um gradiente longitudinal da salinidade a partir da foz e ao longo dos estuários localizados no litoral semiárido brasileiro, com o aumento progressivo desse fator, encontrando-se valores entre 50 e 90 g.L^{-1} na porção do alto estuário. Essa condição é alterada sazonalmente com o aumento da descarga fluvial, “re-estabelecendo a zona de mistura do estuário clássico” (Miranda *et al.*, *op. cit.*). Ainda segundo estes autores, tais condições de hipersalinidade caracterizam os ambientes de elevada evapotranspiração, podendo estar associado aos valores extremos de amplitude de maré (3 metros) e/ou período de estiagem prolongada, ambos evidenciados nesse trecho litorâneo.

2.2.2 Localização geográfica das salinas nos estuários do litoral semiárido

Em termos de localização nas margens dos estuários, as salinas situadas junto à foz captam uma água que apresenta uma curta variação de salinidade ao

longo de todo o ano, conseguindo manter um padrão anual de produção estável, uma vez que a salinidade do Oceano Atlântico não apresenta variações significativas anuais neste trecho (~35 ppm). Por sua vez, as salinas localizadas no alto estuário tem sua captação de água condicionada às oscilações anuais do corpo hídrico, onde nos meses de janeiro a junho o estuário se comporta, quanto à salinidade, como um estuário normal. Nessa condição, apenas o fluxo de água doce ou salobra ocorre neste trecho vindo a apresertar os valores mais elevados apenas na desembocadura do rio.

Nesse sentido, as salinas situadas no baixo estuário contam com uma estabilidade da salinidade no seu local de captação, enquanto que as salinas situadas no alto estuário, embora não possam contar com essa estabilidade, são favorecidas pelo caráter sazonal desse fator ao longo do ano. Assim, após o fim da estação chuvosa na região e início do período de estiagem (julho a dezembro), a salinidade da água ao longo do corpo hídrico aumenta gradativamente em virtude de fatores como 1) desprezível aporte de água doce do rio, 2) altas temperaturas e 3) ventos constantes. A junção desses fatores favorece a ocorrência de altas taxas de evaporação na zona de médio e alto estuário, onde esse último trecho apresenta elevados valores de saturação de sais na água (50 a 60 ppm) e, quando comparado ao circuito de produção de uma salina, funciona como um evaporador natural. Por captarem a água do estuário já em elevada saturação de sais, estas salinas podem antecipar o seu circuito de produção, não necessitando do mesmo tempo que as salinas situadas no baixo estuário.

Ainda com relação à localização das salinas ao longo dos estuários, Costa *et al.* (2010) encontrou que a área de produção da tonelada de sal marinho produzido por uma salina situada próxima à foz do estuário do Rio Apodi-Mossoró é de 50 m², enquanto que uma salina situada no alto estuário necessitava apenas de 30 m² para a produção da tonelada de sal. É principalmente com base nessa assertiva que a análise do perfil da produção de sal marinho a partir da evaporação solar se encaminha para a questão do espaço de produção. Vale ressaltar que mesmo sem a efetiva captação, as salinas situadas nestas zonas do alto estuário mantêm um

padrão de produção contínuo. Este fato se dá através do constante manejo da salmoura ao longo do circuito da salina, de forma que a produção de sal não seja interrompida mesmo com a ausência da captação de água.

2.2.3 Conclusões

De acordo com o apresentado ao longo do texto, fica explícito que o estabelecimento das salinas no litoral semiárido brasileiro se deu por vários fatores condicionantes, como o aproveitamento das várzeas salinas dos rios, clima e tipo de solo. Portanto, conclui-se que as condições ambientais influenciam diretamente no processo produtivo da atividade salineira e constituem o componente do sistema ambiental físico, o qual proporciona as condições necessárias para o desenvolvimento dessas indústrias no litoral setentrional do Rio Grande do Norte.

Essa abordagem dará suporte para as decisões sobre as práticas de gestão e manejo das áreas atualmente ocupadas pelas salinas, uma vez que estas sistemas são o único sistema biológico capaz de ser instalado nessas planícies sem a necessidade de intervenção geotécnica. Assim, em termos econômicos e de reduzido impacto ambiental, as salinas podem ser consideradas uma alternativa para a ocupação dessas planícies com elevada concentração de sais (*e.g.* CaCO_4 , NaCl , MgCl_2 , NaBr) na superfície do solo.

2.3 - Localização geográfica e produção de sal – estratégias adotadas no estuário hipersalino do Rio Apodi-Mossoró

As elevadas e crescentes taxas de urbanização observadas principalmente nas duas últimas décadas contribuíram de forma assustadora para o aumento da concentração da miséria e para a degradação dos recursos naturais, afetando de maneira negativa a qualidade de vida da população (Van Bellen, 2006). A ausência ou carência de planejamento provocou sérios problemas ambientais, tais como, a poluição do ar e das águas, as enchentes, erosões e deslizamentos, a supressão da cobertura vegetal, que trazem conseqüências desastrosas ao dia a dia da população, principalmente a de baixa renda.

Essa necessidade de planejamento e ordenamento do uso do solo e dos recursos naturais se traduz também de forma preocupante nas zonas costeiras. Os diversos ambientes costeiros apresentam elevada fragilidade frente aos processos naturais e às intervenções humanas na zona costeira, sobretudo aqueles localizados na porção nordeste do Brasil, onde as condições climáticas adversas e um processo acelerado de ocupação da zona costeira, que inclui a carcinicultura (aquacultura de camarão) e a expansão urbana, dentre outras atividades, resultam em pressões ambientais permanentes sobre esses ecossistemas (Maia e Lacerda, 2005).

Os indicadores permitem transmitir de maneira sintética a informação de caráter técnico e científico original, tornando compreensível fenômenos complexos, quantificando-os para que possam ser analisados por diferentes segmentos da sociedade (Van Bellen, 2006). Aplicando-os ao ambiente, permitem comparar entre sistemas, as pressões existentes, avaliar tendências ao longo do tempo de seu estado, bem como das respostas sugeridas por dirigentes e sociedade.

Considerando que as condições ambientais influenciam diretamente no processo produtivo da atividade salineira (Davis, 2000; Korovessis e Lekkas, 2006; Moosvi, 2006; DE Medeiros Rocha e Camara, 1993; Barbosa *et al.*, 2000; Souto *et al.*, 2000) e constituem o componente do sistema ambiental físico, o objetivo foi o de apresentar indicadores ambientais que possibilitem identificar quais as

características ambientais de uma determinada área que influenciem na sustentabilidade da produção de sal marinho em salinas solares.

Todavia, salienta-se que pelos indicadores selecionados (*área de produção – ha e volume de água do estuário consumido*), no que concerne à análise da sustentabilidade ambiental, evidencia-se uma lacuna básica que reside na inexistência de parâmetros para se estabelecer a amplitude da resiliência e avaliar a estabilidade das características tratadas. Essa lacuna se reforça em função de que este termo não está relacionada apenas a aspectos físico-ecológicos, mas também a aspectos sócio-econômicos, aos padrões e à qualidade de vida dos agrupamentos humanos inseridos no processo produtivo.

A localização das salinas ao longo dos estuários dos principais rios nesse litoral se deve à conjuntura de fatores ambientais como clima semi-árido, com altas temperaturas ($>28^{\circ}\text{C}$), baixa precipitação pluviométrica ($<800\text{ mm/ano}$) e altas taxas de evaporação, juntamente com a disponibilidade de água do estuário. A associação desses fatores faz com que o estuário, durante boa parte do ano (período de estiagem), se torne hipersalino (Silva, 2004), atingindo valores de salinidade entre 45 e 90 ppm (partes por milhão). Dessa maneira, o corpo d'água funciona como um evaporador natural das águas, beneficiando as salinas que já captam a água com um elevado teor de saturação de sais.

Todavia, a indústria salineira do Rio Grande do Norte vem passando por um processo gradativo de modernização, exigindo um produto cada vez mais competitivo no mercado internacional, sobretudo em relação ao seu grau de pureza e qualidade; além disso, a preocupação hoje é de se obter um produto que seja fruto de um manejo ambiental adequado e em respeito às normas ambientais (De Medeiros Rocha et al., 2009).

Para a mudança desse cenário, a elaboração de uma estratégia para o fortalecimento da gestão ambiental ao nível municipal, com a criação de programas municipais de proteção ambiental e de políticas ambientais, torna-se de fundamental importância.

Desta maneira, a mudança para um novo modelo de desenvolvimento garantindo a conservação ambiental e obtendo-se a qualidade e o equilíbrio necessário ao meio ambiente, poderão ser conseguidos pelas organizações que se adaptarem as novas normas ambientais, que na busca da sustentabilidade apregoam a gestão correta dos recursos naturais, e a prática de novas estratégias com o objetivo de se adequarem aos critérios do chamado desenvolvimento sustentável (Bello, 1998 *apud* Oliveira *et. al.*, 2004).

No que concerne à sustentabilidade da produção de sal marinho, foi avaliada a área produtiva destinada à produção, assim como os recursos captados durante a produção. O critério utilizado será a área utilizada para a produção e a captação de água do estuário. Por conseguinte, a pesquisa em questão tem como objetivo central avaliar a sustentabilidade do consumo de água do estuário e uso do solo para a produção de sal marinho nas salinas situadas ao longo do estuário do Rio Apodi-Mossoró, no litoral setentrional do estado do Rio Grande do Norte.

Para tanto foi aplicado o sistema de indicadores de sustentabilidade PSR na comprovação empírica os valores de produção anual de sal e área necessária para essa produção em duas empresas salineiras (**Fig. 14**). A primeira salina analisada foi a Salina Miramar, pertencente ao grupo NORSAL – Norte Salineira S. A. Indústria e Comércio, situada junto à foz do estuário (município de Areia Branca/RN), cuja sede fica entre as coordenadas geográficas de 4°56'37'' de latitudes Sul e 37° 08' 19'' de longitude Oeste. Essa empresa foi escolhida como área representativa da produção de sal junto à desembocadura do rio, cujo ambiente de captação de água difere do observado no alto estuário.

A segunda salina foi escolhida na porção do alto estuário foi a Salina São Camilo, com sede situada entre as coordenadas geográficas de 5° 04' 9'' de latitude Sul e 37° 15' 34'' de longitude Oeste. Essa salina está localizada no município de Mossoró/RN, pertencendo à empresa Salineira São Camilo LTDA.

Por estarem situado em uma região de clima semiárido, as duas empresas analisadas retratam realidades ambientais distintas ao longo do corpo hídrico, onde a aplicação desse critério também pode evidenciar algumas nuances da produção de

sal em um estuário do Rio Apodi-Mossoró. Nesse sentido, a Salina Miramar, por estar situada junto à foz do estuário e realizar a captação de água direto do mar, consegue manter um padrão de produção estável ao longo do ano, uma vez que a salinidade do oceano não apresenta variações significativas anuais, mantendo sempre um padrão constante.

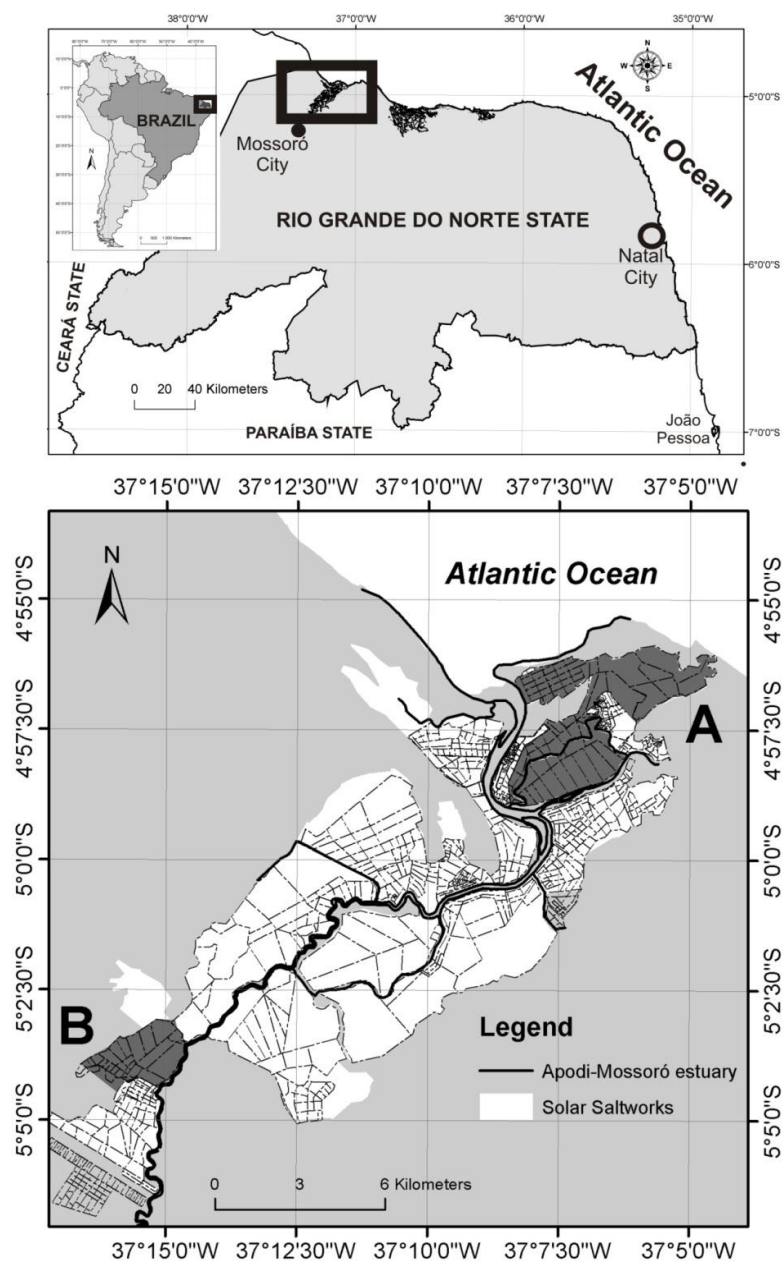


Figura 14 – Localização das Salinas analisadas no estuário do Rio Apodi-Mossoró (Rio Grande do Norte). **A** = Salina Miramar; **B** = Salina São Camilo.

Fonte – Elaborado pelo autor.

Já a Salina São Camilo, localizada no alto estuário, tem sua captação de água condiciona às oscilações anuais do corpo hídrico, onde nos meses de janeiro a junho o estuário se comporta, quanto à salinidade, como um estuário normal. Nessa condição, apenas o fluxo de água doce ocorre no trecho onde a salina está situada, vindo esta água a ser diluída no oceano apenas na desembocadura do rio.

Todavia, com base em ações de engenharia de produção, mesmo sem a efetiva captação, a salina São Camilo mantém um padrão de produção contínuo através do constante manejo da salmoura ao longo do circuito da salina, de forma que a produção de sal não seja interrompida mesmo com a ausência da captação de água. Graças a essa técnica de manejo da salmoura ao longo da salina, os valores de produção da mesma podem ser comparados ao da Salina Miramar.

No que concerne à produção, enquanto a Salina Miramar, entre outras salinas situadas no baixo estuário, conta com uma estabilidade da salinidade no seu local de captação ao longo de todo o ano, as salinas situadas no alto estuário, embora não possam contar com essa estabilidade, são favorecidas pelo caráter sazonal desse fator ao longo do ano.

Assim, após o fim da estação chuvosa na região e início do período de estiagem (julho a dezembro), a salinidade da água ao longo do corpo hídrico vai aumentando gradativamente a saturação de sais em virtude de fatores como 1) nulo aporte de água doce do rio, 2) altas temperaturas e 3) ventos constantes. A junção desses fatores favorece a ocorrência de altas taxas de evaporação no médio e alto estuário, onde esse último trecho apresenta elevados valores de saturação de sais na água (50 a 90 ppm), e quando comparado ao circuito de produção de uma salina, funciona como um evaporador natural (Silva, 2004).

Por captarem a água do estuário já em elevada saturação de sais, as salinas situadas no alto estuário (São Camilo, por exemplo), podem antecipar o seu circuito de produção, não necessitando do mesmo tempo de produção que as salinas situadas no baixo estuário. É com base nessa descrição dos diferentes cenários de produção no estuário do Rio Apodi/Mossoró que seguem as comparações entre as áreas necessárias de produção entre as salinas Miramar e São Camilo.

No estuário do Rio Apodi-Mossoró (RN), as salinas surgem como uma das unidades mais presentes na paisagem, onde o seu funcionamento está expressamente relacionado com a variável espacial (Costa, 2010). Esses corpos d'água ainda funcionam como complexos ecossistemas artificiais, principalmente no que concerne a sua estrutura, funcionamento e evolução (De Medeiros Rocha, 2011). Assim, sob a perspectiva da funcionalidade integrativa entre as características do sistema ambiental da salina e do sistema econômico no qual ela está inserida, a análise da área necessária para produção e sua relação com os aspectos ambientais envolvidos nesse processo tornou-se de fundamental importância para se entender a dinâmica de uso e ocupação do solo ao longo do estuário e as implicações dessa dinâmica na sustentabilidade ambiental da região.

Nesse contexto, as salinas surgem como um componente preponderante na região estuarina, onde a área destinada à produção e o volume de água consumido do estuário são dois componentes básicos desse sistema de produção. A presente pesquisa vem a evidenciar que a combinação desses dois elementos adquire uma expressão a nível de explicação da paisagem auto-organizada ao longo do estuário do rio Apodi/Mossoró. Dessa maneira, os dois indicadores selecionados para avaliar a sustentabilidade da produção de sal marinho expressam a relevância dos parâmetros físico-ambientais no processo de uso e ocupação do solo.

2.3.1 Material e métodos

Para a análise da sustentabilidade do processo de sal marinho, foram elencados dois critérios para balizarem a análise: 1) consumo de matéria prima (captação de água do estuário) e 2) a área destinada à produção. Esses dois critérios foram associados aos seguintes dados a serem coletados: área de produção (ha), produção total anual (ton.), salinidade do local de captação (partes por milhão - ppm), nº de bombas de captação por salina e taxa de bombeamento (m³/hora).

A etapa subsequente foi a seleção de áreas amostrais para a fundamentação empírica, sendo selecionadas duas salinas situadas ao longo de um estuário, as quais representam realidades ambientais diferenciadas quanto do local de captação, como comentado anteriormente. Após a seleção das áreas amostrais, procedeu-se a coleta dos dados, a qual se deu através da consulta ao Sistema de Informações Geográficas montado por De Medeiros Rocha (2005) para o Instituto de Defesa do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Norte. Nesse banco de dados além das informações acima mencionadas e utilizadas para a análise de produção nesta pesquisa, ainda constam informações relevantes como: nome e endereço do empreendimento, se há planos de expansão, nº de funcionários, entre outros.

Os dados foram trabalhados à luz do circuito de produção necessário para produção da tonelada de sal. Nesse sentido, será traçada a comparação entre a área necessária para produção de uma tonelada de sal marinho e o volume de água necessário para essa produção.

Com vistas na análise final do consumo de recursos naturais para produção da tonelada de sal produzida no estuário, os dados de área de produção e volume de água captado do estuário foram descritos matematicamente e expostos em forma de tabelas.

2.3.2 Resultados e discussão

A partir da análise da tabela 4, pode-se observar que a Salina Miramar utiliza uma área de produção mais de três vezes superior a área utilizada pela Salina São Camilo, conseguindo obter uma produção apenas duas vezes superior. Nessa relação área/produção, observa-se que por apresentar uma área maior, a Salina Miramar possui um conjunto de 05 bombas de captação, abarcando um volume superior de demanda de recurso hídrico, ao passo que a Salina São Camilo apenas 01.

Tab. 4 – Indicadores avaliados para o cálculo do uso da água para produção de sal marinho das salinas em análise.

Empreendimento	Área de produção (ha)	Produção total anual (ton.)	Salinidade do local de captação	Nº de bombas	Taxa de bombeamento (m³/hora)
Salina Miramar	1.668	360 mil	35 ppm	05	3.000
São Camilo	495	175 mil	50 a 80 ppm	01	3.600

Fonte – De Medeiros Rocha (2005).

Com base nos valores de produção anual e do volume de água necessários, chegou-se aos valores de que, na Salina Miramar, para cada tonelada de sal produzida, são necessários 60 m³ de água captada do estuário. Já a salina São Camilo, para a produção de cada tonelada utiliza apenas 30 m³ de água. Esses valores foram obtidos a partir do somatório da taxa de bombeamento, quantidades de bombas, e tempo de bombeamento ao longo de um ano. Para o cálculo do tempo de bombeamento, utilizou-se um valor médio de 04 horas diárias⁴.

Ainda vale salientar que para efeito de análise de sustentabilidade, um indicador a ser levado em consideração para pesquisas posteriores é o consumo de combustível/energia, uma vez que a utilização das bombas de captação implica em um alto consumo de energia elétrica, a qual representa uma demanda amais para a produção. Esse fato é mencionado em referência a necessidade de utilização de 05 bombas da Salina Miramar em comparação com apenas 01 da Salina São Camilo, onde a variável consumo de energia seria um item a mais a ser levado em consideração para a avaliação da sustentabilidade.

Com relação à área necessária para produção, esse valor é obtido de forma prática dividindo-se o valor da área do empreendimento destina à produção pela produção total anual. Nesse sentido, a tabela 5 mostra que a área de produção da tonelada de sal marinho produzido pela S. Miramar é de 50 m², ou seja, essa é a

⁴ Dado obtido via consulta as tabelas diárias de bombeamento disponibilizadas pelas salinas pesquisadas.

área necessária para a produção da tonelada de sal. Já a salina S. Camilo apresentou uma área de 30 m² para a produção da tonelada de sal.

Tab. 5 – Cálculo da área necessária para a produção da tonelada de sal marinho nas duas salinas analisadas.

EMPREENDIMENT O	A. P. (ha)	P. T. A. (ton.)	V. A. E. C. (m³/ano)	V. N. P. T.	A. N. P. T.
Salina Miramar	1.668	360.000	21.600.000	60	50
São Camilo	495	175.000	3.888.000	30	30

Fonte – De Medeiros Rocha (2005) / dados da pesquisa. Legenda: A. P. - Área de Produção; P. T. A. - Produção Total Anual; V.A. E. C. - Volume de Água do Estuário Consumido; V. N. P. T. - Volume (m³) Necessário p/ Produção da Tonelada de Sal; A. N. P. T. Área (m²) Necessária para Produção da Tonelada de sal.

Em complemento ao da área necessária para produção da tonelada de sal, também foi calculado o volume de água captado do estuário para essa produção (ver tabela 02). A análise desse item traduz o principal recurso natural consumido de forma direta por uma salina solar, sendo a água a única matéria prima envolvida ao longo de todo o processo de produção. Nesse sentido, a sustentabilidade da produção de sal marinho das duas empresas analisadas, fazendo a comparação entre os volumes de água consumidos anualmente pelas salinas mostrou que as salinas situadas no alto estuário consomem apenas 18% do volume total de água consumida pelas salinas situadas no baixo estuário.

Para a análise desse fator novamente deve ser salientado que as salinas situadas no alto estuário são privilegiadas pelas condições ambientais do estuário, onde a salinidade da água nesse setor está associada à acumulação da água das marés, as altas temperaturas da região (> 28°C) e com os ventos constantes. O sinergismo da atuação dessas forças ambientais proporciona uma alta taxa de evaporação, proporcionando a ocorrência de um gradiente de hipersalinidade da

água na porção do alto estuário. Essa hipersalinidade da água favorece os estabelecimentos instalados nessa localidade uma vez que o ambiente estuarino passa a funcionar como um evaporador inicial durante grande parte do ano (7 a 8 meses).

Ao traçar a relação entre *área* e *volume* necessários para a produção de sal no estuário do Rio Apodi-Mossoró, salienta-se que a água do mar é considerada um recurso renovável (Davis, 2000). É principalmente com base nessa assertiva que a análise do perfil de sustentabilidade da produção de sal marinho a partir da evaporação solar se encaminha para além de um caráter voltado meramente para a questão do espaço de produção. Quanto a essa questão do espaço, como mostrado neste trabalho, a alocação de empreendimentos salineiros no baixo estuário acarreta em um consumo de água cerca de 5 vezes maior do que se o mesmo empreendimento estiver alocado no alto estuário.

Ainda no raciocínio anterior, a própria alocação de área necessária para produção de sal no baixo estuário implica em uma redução da zona costeira, que como já comentado acima, uma salina situada no baixo estuário necessita de aproximadamente 40% a mais de área para a produção, em comparação com as salinas situadas no alto estuário. Todavia vale salientar que o estabelecimento da salinas na região do litoral setentrional do Rio Grande do Norte se deu com o aproveitamento das várzeas salinas dos rios da região (Costa, 2010). Nesse litoral de clima semiárido, após o período das chuvas (janeiro – julho), têm-se a predominância das marés ao longo das desembocaduras dos rios, onde após o período da preamar têm-se a deposição e acumulação de sais ao longo das áreas ribeirinhas, acarretando na ocorrência de crostas salinas.

2.3.3 Conclusão

Em virtude do exposto acima, o retrato fornecido pelo método é um pouco conservador em relação à conservação dos recursos naturais. Essa abordagem

simplista é muito criticada por não considerar a variedade dos sistemas que suportam a vida. Embora o escopo dessa análise seja restrito, os autores não acreditam que essas limitações enfraqueçam o sistema conceitual ou a questão relativa à conscientização.

A análise da relação *área e volume* necessários à produção de sal marinho por evaporação demonstra que o núcleo da sustentabilidade se encontra na possibilidade da natureza ser suficiente para atender às demandas presentes e futuras e para manter a economia indefinidamente.

No presente trabalho, embora baseado em um número limitado de itens de consumo, o sistema procurou sensibilizar as pessoas em relação aos limites da natureza, destacando fatores que, muitas vezes, não são observados. Para tanto o método empregado trata-se de uma ferramenta de comunicação e comparação de impactos ambientais que são decorrentes de diferentes projetos. Como visto nos resultados obtidos, o sistema também pode fornecer uma avaliação contínua, na escala cronológica, da carga total sobre o sistema e de seus componentes como utilização de recursos renováveis, geração de resíduos, expansão do ambiente urbano, etc.

A preservação e recuperação de áreas degradadas é uma estratégia atual nos fragmentos de manguezal no estuário do Rio Apodi/Mossoró. Todavia, ainda se verifica uma contínua pressão por converter partes de fragmentos em áreas residenciais e acúmulo de lixo sobre esse ecossistema, principalmente nas proximidades das áreas urbanas. Nesse sentido, a preservação é entendida como estratégia de gestão sobre os fragmentos de manguezal, muito embora que esta alternativa seja essencialmente uma continuação do *status quo*, mas com efetiva prevenção do ecossistema por meio de vias legais e institucionais de gestão.

Em suma, o método mostra, em valores numéricos, em quanto a capacidade e carga do ambiente foi apropriado pela atividade salineira, na medida em que expressa a apropriação dos recursos como função da sua utilização *per capita*. A ferramenta fornece um resultado agregado da área apropriada de terra e

água que reflete o impacto ecológico da utilização de diferentes tipos de uso humano.

Os resultados apresentados nesse trabalho vêm à idéia de que a atividade humana se apossa, direta e indiretamente, dos serviços da natureza através da apropriação dos recursos renováveis, extração de recursos não-renováveis, absorção de rejeitos, destruição do solo, depleção de recursos hídricos, etc. A pesquisa em questão se concentrou nos primeiros cinco pontos levantados acima, onde ficou notório que o tamanho da área requerida pela atividade salineira pode depender da sua posição geográfica ao longo do estuário, valendo salientar a influência também das receitas financeiras e da tecnologia disponível.

**CAPÍTULO 3 – CARACTERIZAÇÃO DOS COMPARTIMENTOS
AMBIENTAIS (SEDIMENTO E COLUNA DE ÁGUA)
DAS SALINAS SOLARES NO LITORAL
SEMIÁRIDO DO BRASIL**

CAPÍTULO 3 – CARACTERIZAÇÃO DOS COMPARTIMENTOS AMBIENTAIS (SEDIMENTO E COLUNA DE ÁGUA) DAS SALINAS SOLARES NO LITORAL SEMIÁRIDO DO BRASIL

3.1 - Caracterização geoquímica da planície de inundação do estuário do rio Apodi-Mossoró

Alguns dos primeiros estudos sobre as planícies hipersalinas se deram com a descoberta de faciologias evaporíticas costeiras na Costa Trucial do Golfo da Pérsia (Curtis *et al.*, 1963), atual território dos Emirados Árabes Unidos. Essas planícies de supramaré são áreas essencialmente de baixo aporte de sedimentos clásticos, altas taxas de evaporação e com crostais de sais, sendo denominadas pelos árabes de "sabkhas" (*saltflats* em inglês) (Kendall, 1984; Kendall e Harwood, 1996). Tais ambientes estão propensas à inundações periódicas e deposição evaporítica, dominada por carbonatos ou sulfatos, podendo ocorrer em zonas interiores ou costeiras, sendo comuns em áreas costeiras de topografia plana em regiões áridas, desenvolvendo-se em resposta a duas condições ambientais: a deflação de sedimentos de superfície, ou acumulação de sedimentos em uma lagoa, ou por uma combinação de ambos processos (Evans, 1970; Al Farraj, 2007).

Desde a publicação de Curtis et al. (1963), a Costa Trucial, a Península de Qatar e a Baja Califórnia tornaram-se áreas clássicas para o estudo da formação de evaporitos em planícies hipersalinas. Essas zonas tornaram-se de relevante interesse econômico em virtude dessa associação de fácies sedimentares tais como esteiras algálicas formadas na região intermaré, nódulos e estruturas enterolíticas de sulfato de cálcio, tanto gipsita como anidrita, característico da porção supramaré, e cubos bem como formas esqueléticas de halita em uma matriz carbonática ou siliciclástica, sendo todas evidências para a identificação de um ambiente marginal do tipo sabkha (Silva *et al.*, 2000), além de serem importantes para o início da formação do petróleo (Al Farraj, 2007).

No Brasil, esses ambientes foram descritos apenas no litoral do estado de Sergipe e Rio de Janeiro (Silva *et al.*, 2000), porém ocorrem em grandes áreas dos estados do Rio Grande do Norte e Ceará, conforme atestam algumas pesquisas (e.g. Moreira *et al.*, 1989; Mendes *et al.*, 2008) sobre solos hipersalinos (Gleissolo sálico - Brasil/Solonchaks - FAO) nestes estados. Estas áreas assumiram especial importância desde a colonização do Brasil, sendo ocupadas para construção de salinas solares (Vita *et al.*, 2007), principalmente em virtude das características específicas desse tipo de solo, como alta salinidade e impermeabilidade (Abro *et al.*, 1988; Kendall e Harwood, 1996; Guo *et al.*, 2006). Estes solos alcalinos ($\text{pH} > 8,0$) apresentam horizonte sálico (1:1 em água), com $(\text{Cl}^-) > (\text{SO}_4^{2-}) > (\text{HCO}_3^-)$, caracterizado por uma saturação de sódio ($100\text{Na}^+/\text{CTC}$) maior ou igual a 15% (CEC no extrato de saturação maior ou igual a 7 dS/m, a 25°C) em alguma época do ano, sendo largamente limitados a zonas de clima árido e semi-árido e regiões costeiras (EMBRAPA, 1999; FAO, 2006).

O objetivo desta pesquisa foi efetuar a caracterização geoquímica e textural em amostras de solo coletadas na planície de inundação estuarina do Rio Apodi-Mossoró (Litoral nordeste do Brasil), analisando-se os resultados por meio da estatística multivariada. Esta estratégia vem sendo aplicada com sucesso em estudos em planícies de inundação (Gallego *et al.*, 2002; Abílio *et al.*, 2004), onde os dados desta pesquisa se somarão às escassas informações acerca da caracterização deste tipo de ambiente no litoral semiárido Brasil, ao passo que já são bastante estudados em outros países (e.g. Austrália, Usberquistão, Espanha, México, China, etc.) (Ridd e Stieglitz, 2002; Mees e Singer, 2006; Álvarez-Rogel *et al.*, 2007; Dendooven *et al.*, 2010; Zhang *et al.*, 2011).

3.1.1 Área de estudo

A zona de inundação fluvio-marinha do estuário Apodi-Mossoró, situado no litoral setentrional do Estado do Rio Grande do Norte – Brasil) corresponda a uma

área de 367,7 km², sendo submetida inundações sazonais de marés com alturas até 3,80 metros. Atualmente, a planície hipersalina (*sabkha*, *saltflat*, deserto salino) ocupa uma área remanescente de 58,4 km², uma vez que a maior parte desta planície foi ocupada pelas salinas (**Fig. 15**). Estas áreas de supramaré apresentam uma cota topográfica mais elevada que a áreas de infra e meso maré onde os manguezais são encontrados, sendo superfícies planas a suavemente inclinadas, com altitude de 0 a 2 metros em relação ao nível das águas estuarinas, inundadas apenas em períodos de cheias anuais (descarga fluvial) e nas marés de sizígia. A origem dessa planície está relacionada com as antigas áreas de planície de maré estuarina, atualmente sujeitas à dinâmica flúvio-marinha, transbordamentos dos canais durante as cheias e as grandes marés, sendo constituída por sedimentos argilo-arenosos não consolidados.

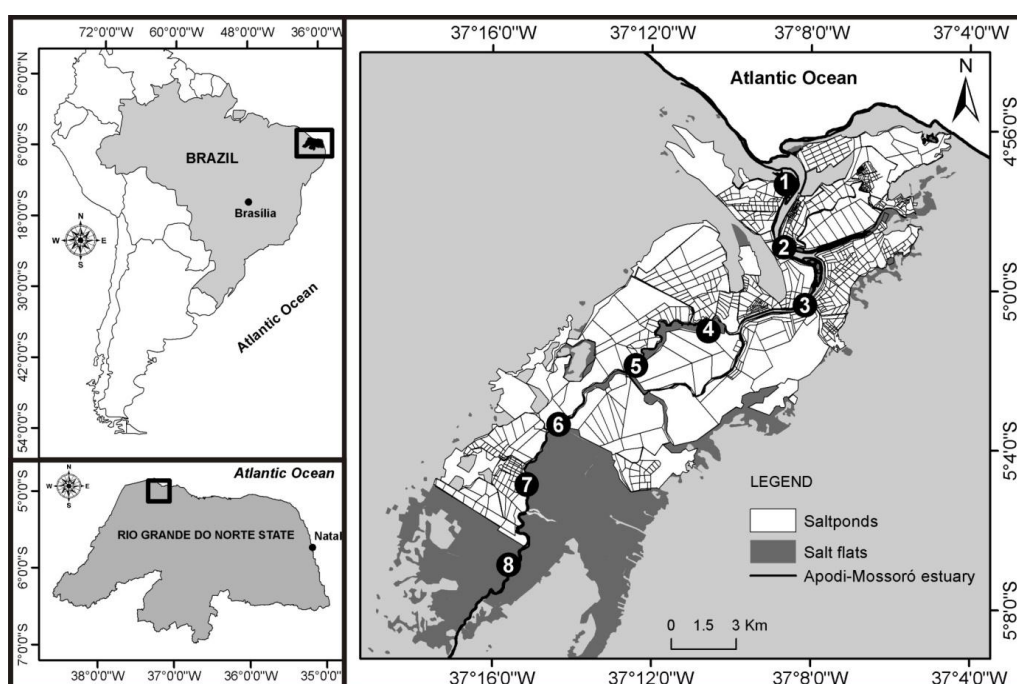


Figura 15 – Localização das amostras de solo coletadas na planície hipersalina do estuário Apodi-Mossoró (RN-Brasil).

Estas zonas, às margens dos leitos atuais e/ou no interior em forma de ilhas, são vestígios de assoreamento (natural) de antigas planícies estuarinas em níveis mais elevados, caracterizadas principalmente por depósitos aluviais, sobretudo os depósitos ocorridos em períodos de amplas enchentes. Em termos de vegetação, apenas estratos vegetação herbácea halófito é identificados nestas áreas, uma vez que a vegetação de mangue não é encontrada em função do elevado teor de sais dos solos (Duke *et al.*, 1998; Lovelock *et al.*, 2009; Costa, 2010). Em termos climáticos, esta zona está situada no litoral semiárido brasileiro, com altas temperaturas ($>28^{\circ}\text{C}$), baixa precipitação pluviométrica (<800 mm/ano) e altas taxas de evaporação (Costa, 2010). Devido a esses fatores climáticos, durante a maior parte do ano (período de estiagem – abril à dezembro) os estuários se tornam hipersalinos, atingindo valores de salinidade acima de 45 ppm (Silva *et al.*, 2009).

3.1.2 Material e Métodos

As amostras de solo foram coletadas ao longo de 08 estações nas margens do estuário no dia 18 de fevereiro de 2009 (**Fig. 15**), cuja localização foi selecionada de acordo com os dados de salinidade da água coletados por Silva et al. (2009). Foram coletadas amostras compostas de 1,5 kg durante a baixa-mar, através da coleta de 03 sub-amostras aleatórias de 0,5 kg na superfície do solo (0-15 cm) em cada ponto amostral para a determinação dos seguintes parâmetros: elementos químicos Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} , K^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} , P e C, teor de matéria orgânica, granulometria, capacidade de troca catiônica (CTC), condutividade elétrica (CE), pH e temperatura. As medidas do pH e temperatura foram realizadas *in situ*, utilizando-se um pH-metro modelo PH-2500 e termômetro digital modelo AL-200C, respectivamente. As amostras foram levadas ao laboratório, secas à 60°C e em seguida peneiradas em malha de nylon <1 mm. Após o peneiramento as amostras foram preservadas em frascos hermeticamente fechados em ambiente seco, climatizado a 20°C até serem analisadas.

Com relação às análises químicas, procedeu-se à determinação de: C total e a matéria orgânica pelo método de Yoemans e Bremner (1988); os restantes elementos químicos foram analisados por extração com HCl mol.L⁻¹ e determinação por espectrofotometria de absorção atômica. Todas as análises foram baseadas nos métodos descritos em Embrapa (1997) e analisadas no Laboratório de Pesquisa de Solos da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte.

A análise da variação dos parâmetros geoquímicos analisados foi realizada por meio da estatística multivariada (Hardle e Simar, 2007), especificamente por meio de Análise de Componentes Principais (ACP), com auxílio do software Statistica for Windows (Statsoft, 2003). As projeções consideradas para as componentes principais 1 e 2 foram os vetores das variáveis ambientais (propriedades físico-químicas do solo, Tabela 6) e os pontos amostrais (1 a 8).

3.1.3 Resultados

De acordo com as análises realizadas, com base na composição química e a granulometria, todas as amostras representam um solo do tipo Gleissolo sálico (EMBRAPA, 1999), cujos valores de cada parâmetro estão na Tab. 6. Com relação à composição granulométrica (**Fig. 16A**), as concentrações areia, silte e argila mantiveram em todos os pontos a proporção silte>argila>areia. O pH dos testemunhos de solo analisados ao longo do estuário Apodi-Mossoró foi considerado alcalino, com valores variando entre 8,15 e 8,58.

Quando analisados via Análise de Componentes Principais (**Fig. 17**), todos pontos amostrais foram integrados em um primeiro eixo com 70,14% e um segundo com 26,88% (p<0,05). A partir desta análise verificou-se a separação dos pontos amostrais em duas zonas do estuário (montante e jusante), em que o primeiro grupo representa o trecho à montante da zona estuarina (P1, P2, P4 e P5), com

excepção do ponto P3, ao passo que de fato o segundo grupo representa o setor mais ao interior do estuário (P7 e P8), situando-se o ponto P6 numa posição intermédia.

Assim como visto na figura anterior, os parâmetros químicos caracterizaram os dois ambientes (montante e jusante), onde a CEC variou entre 97,50 e 117,00 dS.m⁻¹ próximo à foz (**Fig. 16B**), sendo um reflexo direto dos altos valores das concentrações de sódio nas amostras (**Fig. 16C**), variando entre 16,44 e 21,93 g.kg⁻¹ a jusante, com uma redução progressiva a partir do P6 (27,41 g.kg⁻¹), caindo para 14,80 g.kg⁻¹ e P8 14,25 g.kg⁻¹. Em relação aos elevados valores de CEC e sódio encontrados, foi analisada a Saturação por esse elemento em cada amostra (**Fig. 16B**), a qual apresentou valores entre 57,25 e 62,58 cmolc.kg⁻¹ no baixo estuário.

Já as concentrações de carbono e matéria orgânica apresentaram valores entre 15,32 a 29,38 g.kg⁻¹ e 26,41 a 50,64 g.kg⁻¹ próximo à foz, respectivamente (**Fig. 16C**). Nesta zona, as concentrações de potássio variaram entre 1,64 e 2,13 g.kg⁻¹ nesta zona do estuário (**Fig. 16D**), onde as concentrações de fósforo variaram entre o valor mínimo de 3,90 e máximo de 9,76 mg.kg⁻¹ (**Fig. 16E**).

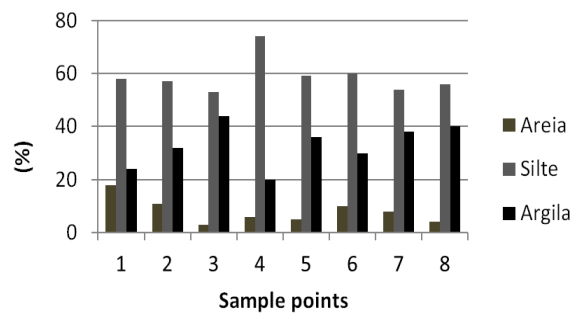
Nesta zona do estuário, as concentrações de cálcio apresentam valores entre 21,00 (P2) e 27,25 cmolc.kg⁻¹, com uma redução gradativa, variando desde 21,80 cmolc.kg⁻¹ (P5) a 8,70 cmolc.kg⁻¹ (P8). Por sua vez, as concentrações de magnésio apresentaram valores entre 21,00 e 27,25 cmolc.kg⁻¹, também com uma redução dessas concentrações a partir de 48,13 a 30,50 cmolc.kg⁻¹ (**Fig. 16F**). Por fim, analisando-se todos os cátions a partir da CTC no baixo estuário apresentou valores, este parâmetro entre 124,91 e 152,35 cmolc.kg⁻¹.

Por sua vez, as concentrações de zinco e cobre apresentaram valores comparativamente mais baixos na zona do baixo estuário, variando desde valores mínimos de 0,72 e 0,58 mg.kg⁻¹ para o Zn⁺² e 0,43 e 0,34 mg.kg⁻¹ no caso do Cu²⁺, com um aumento gradativo em ambos a partir do P6 (1,85 e 0,40 mg.kg⁻¹, respectivamente) (**Fig. 16G**). Com relação as concentrações de manganês e ferro, este primeiro elemento apresentou uma variabilidade aleatória, com valores na zona do baixo estuário variando desde 52,60 e 114,00 mg.kg⁻¹. Todavia, o Fe⁺² de fato foi

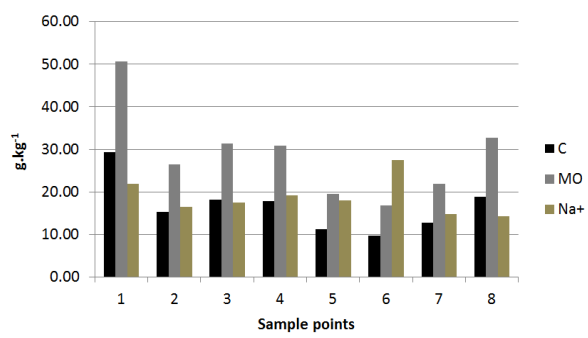
um dos elementos onde se diferenciou a zona de jusante e a de montante no estuário, variando entre 18,80 e 0,88 mg.kg⁻¹ no baixo estuário (**Fig. 16H**).

Tabela 6 - Valores De cada parâmetro analisado nas margens do estuário hipersalino Apodi-Mossoró (RN-Brasil): CE – Condutividade elétrica; CTC – Capacidade de Troca Catiônica; SNa – Saturação por Sódio; MO – Matéria orgânica; N – número total de amostras.

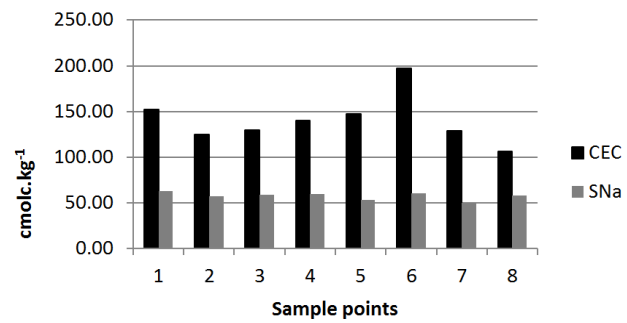
Parâmetros	Pontos							
	1	2	3	4	5	6	7	8
pH	8,15	8,45	8,33	8,39	8,55	8,54	8,58	8,23
CE (dS.m⁻¹)	117,00	115,50	97,50	107,50	117,00	150,00	107,60	77,20
(cmolc.kg⁻¹)								
Ca⁺²	29,00	28,20	21,40	26,80	21,80	21,90	18,00	8,70
Mg⁺²	23,75	21,00	27,25	24,50	39,25	48,13	37,75	30,50
CTC	152,35	124,91	129,96	140,19	147,61	197,54	128,59	106,49
SNa	62,58	57,25	58,69	59,51	53,29	60,33	50,05	58,20
(g.kg⁻¹)								
Na⁺²	21,93	16,45	17,54	19,19	18,09	27,41	14,80	14,25
K⁺	1,66	1,64	1,97	2,13	3,09	3,26	3,31	2,08
C	29,38	15,32	18,20	17,86	11,29	9,76	12,70	18,93
MO	50,64	26,41	31,38	30,78	19,46	16,83	21,90	32,64
(mg.kg⁻¹)								
Mn⁺²	52,60	55,13	108,75	64,90	114,00	107,75	111,70	28,30
Fe⁺²	18,80	0,88	247,50	13,43	3,44	76,12	303,70	282,90
P	3,90	9,76	37,14	7,86	6,19	16,90	7,14	83,10
Zn⁺²	1,96	0,72	6,59	0,58	0,96	1,85	5,56	6,14
Cu⁺²	0,43	0,34	1,04	0,36	0,37	0,40	1,09	2,80
Granulometria (%)								
Areia	18,00	11,00	3,00	6,00	5,00	10,00	8,00	4,00
Silte	58,00	57,00	53,00	74,00	59,00	60,00	54,00	56,00
Argila	24,00	32,00	44,00	20,00	36,00	30,00	38,00	40,00



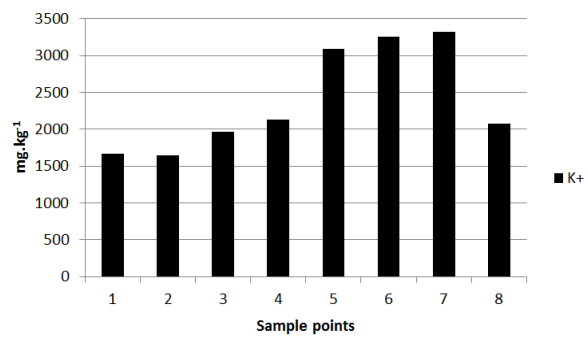
A



B



C



D

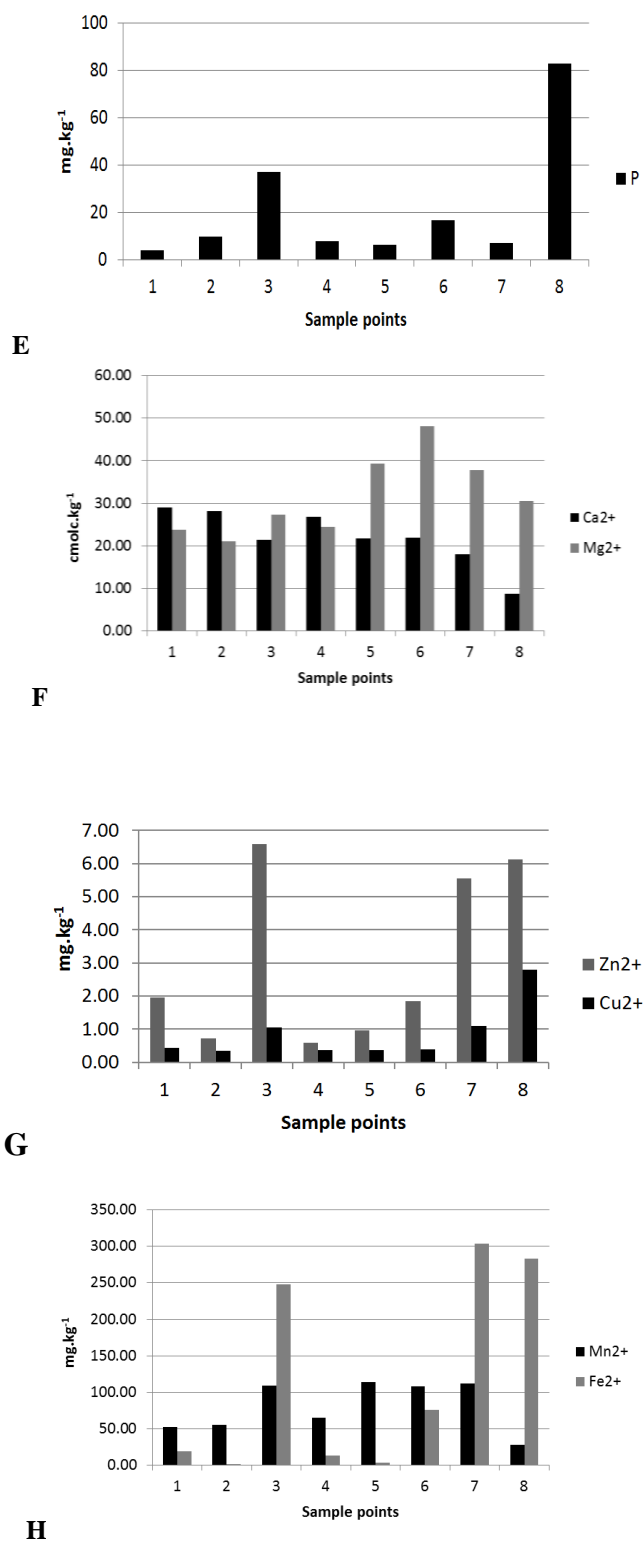


Figura 16 – Gráficos de barras dos parâmetros analisados nas amostras de solo, mostrando a variação dos dados entre os pontos: A – Granulometria; A – Carbono, Matéria Orgânica e Na⁺; C - CEC e SNa; D – K⁺; E – P; F – Ca²⁺ e Mg²⁺; G - Zn²⁺ e Cu²⁺; H - Mn²⁺ e Fe²⁺).

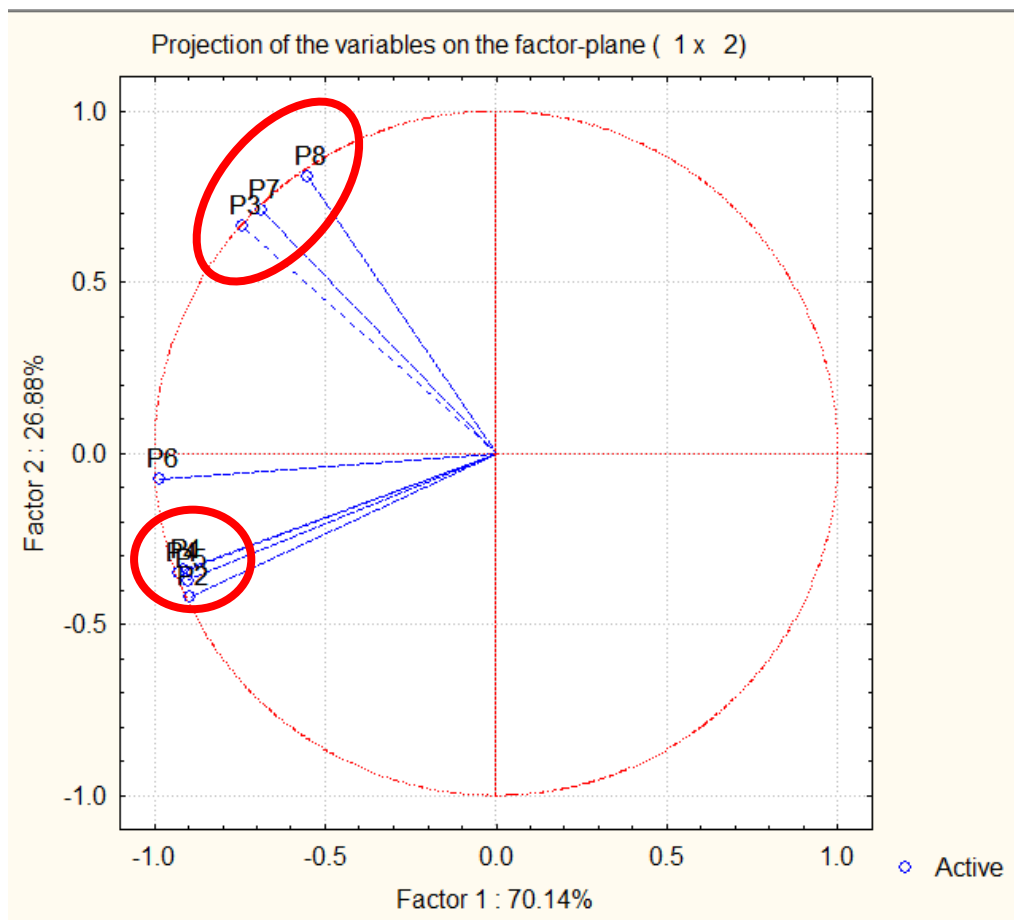


Figura 17 – Gráficos da Análise de Componentes Principais realizada nos parâmetros determinados nas amostras de solo coletadas na planície de inundação hipersalina do estuário Apodi-Mossoró (RN-Brasil).

A zona do alto estuário foi marcada por terem sido obtidos os valores mais elevados, apresentando a CEC com uma variação um pouco maior em relação a jusante, com valor máximo de $77,20 \text{ dS.m}^{-1}$, cuja saturação por sódio variaram entre $50,05$ e $60,33 \text{ cmolc.kg}^{-1}$. Já os valores das concentrações de carbono variaram entre $9,76$ e $18,93 \text{ g.kg}^{-1}$, respectivamente, enquanto que os de matéria orgânica variaram entre $16,83$ e $32,64 \text{ g.kg}^{-1}$ (**Fig. 16B e C**).

Por sua vez, o potássio, fósforo, ferro e cobre foram os elementos onde evidenciou-se os valores mais elevados no alto estuário (pontos 7/8),

nomeadamente com as seguintes concentrações: 3,31/2,08 g.kg⁻¹; 12,70/18,93 mg.kg⁻¹; 21,90/32,64 mg.kg⁻¹ e 1,09/2,80 mg.kg⁻¹, respectivamente (**Fig. D a H**).

Ainda ressalta-se que os valores obtidos na maioria dos parâmetros no Ponto 3 enquadraram-se como uma estação de amostragem com características geoquímicas semelhantes ao alto estuário, estando porém situado geograficamente próximo à costa. Em contrapartida, observou-se que o ponto 6 apresentou valores intermediários também na maioria dos parâmetros analisados, caracterizando-o como um ambiente de transição entre as zonas de baixo e alto estuário.

3.1.4 Discussão

A distribuição granulométrica dos solos coletados ao longo das margens do estuário ocorre de forma heterogênea, com predominância da fração silte, apresentando uma tendência das frações inorgânicas obedecerem a uma ordem decrescente de concentração: silte > argila > areia. A percentagem de areia foi no entanto superior no ponto P1, próximo à foz do estuário, possivelmente derivada da dinâmica praial, sendo esta a zona submetida diretamente à ação das marés. A textura pode ser atribuída ao fato de se tratar de solos situados em zonas de inundação tanto marinha (durante as marés de sizígia) quanto e fluvial (anualmente), com a deposição de sedimentos finos (silte). Estes solos, por serem derivados de sedimentos aluviais diversos, podem apresentar diferenças nas suas características morfológicas, físicas, químicas, físico-químicas e mineralógicas (Du Laing et al., 2009).

A análise de componentes principais aplicada ao conjunto de estações amostradas possibilitou a identificação de duas zonas características da planície estuarina assim como dos principais grupos de parâmetros relacionados, sendo uma com maior influência direta das marés (baixo estuário) e a outra à montante. As amostras do alto estuário apresentaram elevados teores Fe²⁺, Cu²⁺,

Mn^{2+} e Zn^{2+} , em relação às áreas amostrais no baixo estuário, com valores comparativamente mais baixos.

Em ambos os casos, esses valores de concentração dos elementos analisados é resultante da sua acumulação gradual no solo (principalmente o sódio), após o período de inundação nas marés de sizígia, seguida da rápida evaporação da água em virtude das elevadas temperaturas ($> 30^{\circ}\text{C}$) e ventos constantes, onde esse processo de saturação salina natural do solo em planícies de inundação já sendo relatado ao longo dos anos em vários estudos (Schreiber, 1986; Jolly et al., 1993; Ridd e Stieglitz, 2002; Al-Farraj A. 2005; Mees e Singer, 2006; Dendooven et al., 2010).

Em relação à elevada concentração de sódio encontradas nas amostras, esta característica é típica dos solos halomórficos, sendo resultante da intensa evaporação nestas áreas semiáridas, promovendo o acúmulo de sais no sedimento (Kendall e Harwood, 1996), onde temperatura do solo pode atingir valores acima de 40°C (Mendes *et al.*, 2008). Todas as amostras apresentaram elevada concentração de sais, com a presença de crostas superficiais de sais cristalizados (principalmente NaCl). Essa característica salina é marcante nos solos dessas planícies hipersalinas (*sabkhas*) (Al-Farraj, 2005), onde as variações de maré nos estuários podem resultar em variações importante localização específica da salinidade da água e do solo, onde esse aumento da salinidade é associado a um aumento nas concentrações dos principais cátions (Na^{+} , K^{+} , Ca^{2+} e Mg^{2+}) (Schreiber, 1986; Ridd e Stieglitz, 2002; Du Laing *et al.*, 2009).

Com relação à influência antrópica no estuário, o P8 mostrou um reflexo dessa ação com a mais elevada concentração de de fósforo encontrada em todo o estuário ($83,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ – 21 vezes superior a menor concentração que foi encontrada no P1 – $4,0 \text{ mg.kg}^{-1}$). Essa alta concentração de fósforo juntamente com os mais baixos valores da condutividade elétrica, Sódio e CEC ($77,20 \text{ dS.m}^{-1}$, $14,25 \text{ g.kg}^{-1}$, $106,49 \text{ cmolc.kg}^{-1}$, respectivamente) podem traduzir a influência do aporte de água doce, rica nesse nutriente, vinda da drenagem de uma zona de

intensa agricultura e seguida de uma zona urbana (Mossoró) em efetivo tratamento dos esgotos domésticos.

Quanto às concentrações de carbono e à matéria orgânica, a análise mostrou uma concentração mais elevada no baixo estuário e no último ponto amostral à montante (P8), porém este último já retrata o forte aporte urbano. No Baixo estuário, cujas margens são ocupadas pela vegetação de mangue, observa-se uma concentração elevada desses dois parâmetros, coincidindo com o setor de maior desenvolvimento estrutural da vegetação de mangue (Costa, 2010).

Com relação especificamente aos elevados valores identificados no ponto 3, os quais foram responsável por seu agrupamento estatístico como se pertendo a zona do alto estuário, verificou-se que a estação amostral apresentou características particulares em relação aos demais pontos. Nesse sentido, identifica-se como principal possibilidade de fator gerador dos resultados identificados a geomorfologia do ambiente, com a formação de uma microdepressão na qual possivelmente a água das marés acumula-se e, por consequência, tem-se a saturação do solo (**Fig. 18**).





Figura 18 – Fotografias aéreas com a morfologia do local de captação no ponto 3 (A – Localização geral e B – Localização específica).
Fonte – Acervo do autor.

3.1.5 Conclusão

A análise estatística multivariada aplicada ao conjunto de dados demonstrou que é possível identificar a partir de estudos geoquímicos que a mesma unidade hipersalina apresenta variações em relação aos parâmetros analisados, sendo possível distinguir 02 setores com características distintas (baixo e alto curso do estuário). As maiores concentrações salinas (reportadas claramente pela CEC, CTC e SNa) foram obtidas no que seria uma grande zona de acumulação no alto curso do estuário e estações com concentrações em teores comparativamente mais baixos próxima à costa. Certamente estes resultados se deram em função de fatores como maior influência da maré (próximo à costa), posição geográfica ao longo do estuário, aporte de origem antrópica (caso do fósforo).

Em termos de concentrações, as análises geoquímicas mostram que nas amostras são tipicamente de uma ambiente com elevado processo de salinização natural e em função da dinâmica das marés estuarina e do clima semiárido, não sugerindo fontes continentais desses metais para a área. Os valores encontrados são derivados da saturação natural e gradativa através da evaporação da água do mar que fica acumulada, onde as contribuições externas ao estuário são pouco expressivas. Estes dados serão passíveis de comparação com outras áreas que mantenham essa característica de halomorfismo e possivelmente, distinguir fontes antrópicas para alguns elementos encontrados em alta concentração.

3.2 – Revisão da tipologia e compartimentação ecológica das salinas solares brasileiras

As primeiras referências de que se dispõe sobre a extração de sal da água do mar são oriundas da China, durante a dinastia do imperador Huang, até o ano 2.500 a.C. O procedimento usado era basicamente o mesmo que se aplica atualmente em algumas localidades da África, América do Sul e Oceania, e consistia em represar a água do mar em diques de argila e aguardar a precipitação do sal marinho, com predomínio de NaCl e grande conteúdo em sais de cálcio, magnésio etc. (Baas-Becking, 1931).

A qualidade e a produtividade da extração de sal de algumas importantes salinas melhoraram ao longo das duas últimas décadas, mediante novos sistemas que normalmente se baseiam na modernização da construção, disposição dos tanques por causa do aumento da taxa de evaporação etc., com a finalidade de facilitar a ação dos processos físicos que podem provocar um aumento na produtividade (Davis, 1978, 2000, 2009; De Medeiros Rocha e Câmara, 1993; Oren, 2009).

As regiões em que tradicionalmente se desenvolvem a exploração do sal marinho encontram-se em zonas com forte insolação diária, nas proximidades de estuários, com predomínio de solos argilosos que favorecem a impermeabilização do terreno. Os índices pluviométricos das referidas áreas costumam ser baixos ou, pelo menos com um período de chuvas concentrado em poucos meses do ano. Outra característica climatológica importante é a presença de fortes ventos que permitam a aceleração da evaporação da água.

3.2.1 Descrição das salinas do nordeste brasileiro

Considerando o modo de exploração e colheita do sal, De Medeiros Rocha (2011) dividiu as salinas solares brasileiras em duas categorias: a) artesanais (manuais) e b) mecanizadas:

a) As **salinas artesanais** são pequenas (**Fig. 19**), com uma superfície média de 2-50 ha, dividida em 10-20 tanques (evaporadores e cristalizadores), com colheita manual do sal e uma produção de aproximadamente 200-20.000 ton./ano. O reduzido tempo de retenção das salmouras em cada evaporador não permite o desenvolvimento completo de um ecossistema estável.



Figura 19 - Salina artesanal com a colheita manual do sal no estuário do Rio Apodi-Mossoró, município de Grossos-RN (2010). **Fonte** - Acervo do autor.

Produzem um sal considerado de segunda qualidade por parte das indústrias químicas, especialmente por seu conteúdo de impurezas orgânicas e inorgânicas, e por originar cristais miúdos e quebradiços. Durante seu manejo, as salmouras de distintos tanques e salinidades são misturadas constantemente, e por isto estas salinas não possuem um gradiente definido de salinidade entre cada evaporador. É prática usual recircular uma salmoura do final do circuito (salinidade de 250 g.L^{-1}) e introduzi-la nos primeiros evaporadores para incrementar a salinidade de toda a salina, aumentando a temperatura da água e provocando mais rapidamente a precipitação do cloreto de sódio.

b) Uma **salina mecanizada** típica (**Fig. 20**) costuma produzir mais de 150.000 toneladas de sal por ano, e possui uma superfície de produção acima de 500 hectares. O tempo de retenção das salmouras é mais longo e a água marinha captada pela salina chega como salmoura concentrada na zona de cristalização aproximadamente três meses mais tarde.



Figura 20 - Típica salina mecanizada do Nordeste com zona de evaporação (à direita) e zona de cristalização (à esquerda). Ao centro, a cidade de Areia Branca, RN. **Fonte** - Acervo do autor.

Este é método mais comum para a extração do cloreto de sódio marinho, consistindo em provocar uma evaporação gradual da água do mar nos reservatórios chamados evaporadores, que ocupam cerca de 90% da área da salina. Estão dispostos em série e interconectados entre eles, facilitando um fluxo, por gravidade ou por bombeio mediante energia eólica ou elétrica, da água captada de um estuário ou do mar. Enquanto vai fluindo por eles, se evapora até alcançar concentrações da ordem de 260 e 280 g.L⁻¹. Finalmente esta salmoura é distribuída nos reservatórios cristalizadores para a precipitação massiva de NaCl. Ao longo desta evaporação há uma separação fracionada de alguns sais (**Fig. 21**), o que gera a formação de verdadeiras barreiras na distribuição ecofisiológica de muitos organismos aquáticos (Copeland, 1967). Depois da precipitação do NaCl as salmouras que ficam chamam “águas-mãe” ou “águas amargas” (*bittern*) e costumam ser desaguadas e enviadas ao mar.

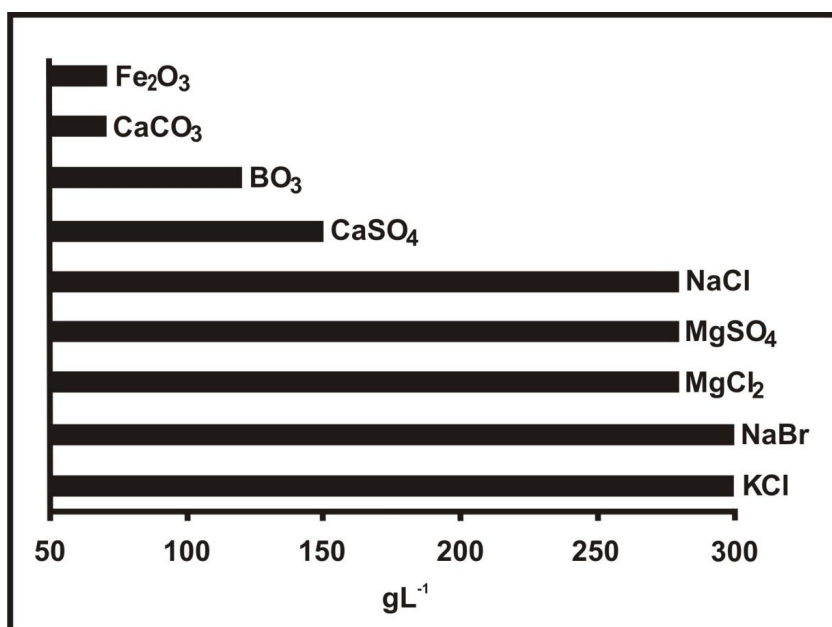


Figura 21 - Sequência da precipitação dos sais contidos na água do mar (modificado de Copeland, 1968).

3.2.2 Compartimentos da salina⁵

Na tentativa de explicar a variação de organismos frente à flutuação de fatores físicos e químicos ao longo de um circuito de evaporação das salinas solares, alguns autores estabeleceram uma divisão setorial da salina, mais pela função que cada setor executava na produção do cloreto de sódio ou da composição de sais, do que mesmo características da flora ou fauna (e.g. Copeland, 1967; Davis, 2000). Estabeleceram algumas barreiras ecológicas naqueles gradientes em função das precipitações de sais preconizadas por Foi a partir de então que a comunidade científica passa a realmente considerar uma salina como um ecossistema e que, o seu equilíbrio seria responsável pela produção de um cristal de cloreto de sódio com maior pureza (De Medeiros Rocha e Câmara, 1993; Javor, 2002; Oren, 2003; Davis, 2009).

Para efeitos práticos de descrição de uma salina do nordeste do Brasil, de grande extensão, como ecossistema estável, e do seguimento do desenvolvimento das populações que nela aparecem se estabelece uma divisão de sua estrutura em setores:

a) Setor inicial

Corresponde a área de captação da salina que, direta ou indiretamente, funciona como o suporte de toda a biota da salina. Nele se introduz a água marinha ou estuarina, a uma salinidade de 35 a 50 g.L⁻¹. A profundidade média nesta zona varia ao redor de 01 metro porém, devido á irregularidade da topografia das áreas, se encontram profundidades de até 5 m (antigos canais de maré), o que facilita a gradual adaptação de espécies estuarinas a salinidades maiores. A captação da água se leva a cabo mediante potentes bombas de sucção de grande volume (de 0,2 até 1,8 m³/seg.), o que permite a entrada de organismos

⁵ Adaptado de Davis (2000).

pluricelulares (**Fig. 22**), inclusive alevinos de diversas espécies de peixes (Fausto Filho, 1984).

Este setor apresenta uma fauna carcinológica relativamente rica, cujos grupos que mais se destacam são o caranguejos da família Portunidae e o dos camarões marinhos da família Penaeidae, tanto pela sua abundância como pela importância econômica que representam para a região. Em termos de bioecologia dos principais moluscos gastrópodos e pelecípodos que ocorrem na área em estudo, observa-se que a fauna malacológica é relativamente pequena em matéria de diversidade específica. Somente sete famílias, seis gêneros e oito espécies se apresentam como as mais abundantes, sendo a família Mytillidae representada pelas espécies *Mytella falcata* e *Crassostrea rhyzophorae*, as de maiores significação sob o ponto de vista quantitativo; ambas as espécies oferecem enorme potencial de exploração, tanto pelo processo artesanal de coleta como por mecanismo artificial de cultivo (Fausto Filho, 1984).

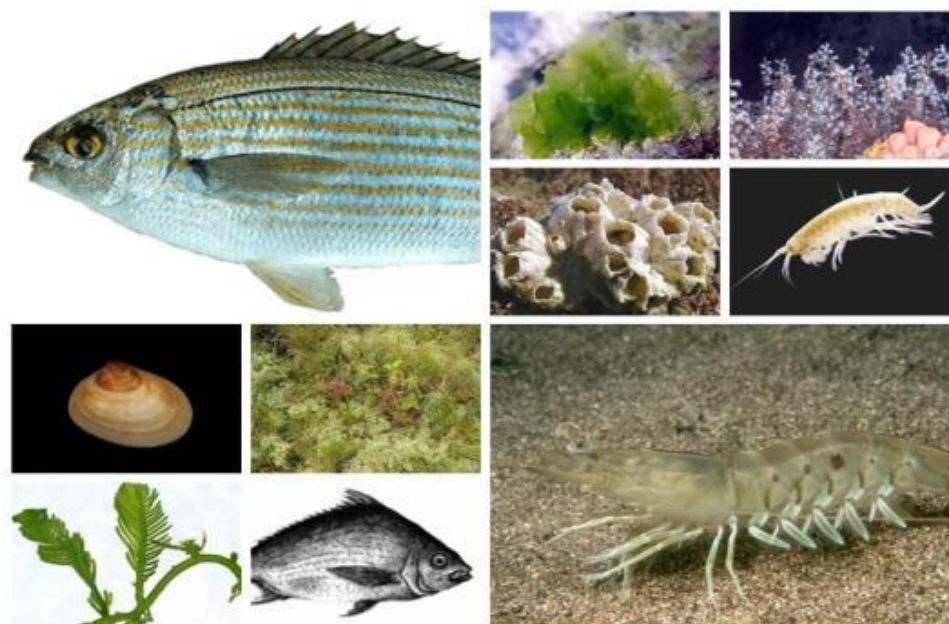


Figura 22 – Figura ilustrativa da biodiversidade encontrada no setor inicial de uma no Salina solar típica da região nordeste do Brasil. **Fonte** – De Medeiros Rocha (2011).

Com relação à fauna ictiológica, esta se apresenta mais típica e mais variada sob o ponto de vista específico, com cerca de 23 espécies habitando as salinas. Destas, destacamos que o Setor I, a mais próxima da entrada de água para o tanque, é a que apresenta uma maior abundância de peixes, tanto nos turnos da manhã, como nos da tarde e noite. A ocorrência de um maior número de peixes no Setor I deve-se ao fato dela estar próxima à entrada de água proveniente do bombeamento da água da gamboa para o tanque. Esta água traz consigo um suprimento novo e abundante de alimento e oxigênio para os peixes (Fausto Filho, 1984).

A função básica deste setor, considerado como biótopo, seria a de capturar a maioria dos nutrientes inorgânicos que entram no estuário, fixados pelo fitoplâncton e pelas macroalgas. Neste setor costumam desenvolver-se densas populações de macroalgas como *Caulerpa sertularioides* e *Gracillaria* sp.. A fauna bentônica é caracterizada pela presença de briozoários, grande variedade de protozoários, poliquetas, tanaidáceos, anfípodes e bivalves, entre outros, chegando a ter maior diversidade que as áreas adjacentes ao manguezal (Bauld, 1981; López et al., 2010). A estabilidade do setor inicial, e sua riqueza tanto na diversidade como em biomassa, faz com que se possa considerar como um dos ecossistemas aquáticos mais produtivos que se conhecem (Davis, 2000; Koroivessis e Lekkas, 2006; 2009; Moosvi, 2006).

b) Setor intermediário I

Setor em que se registram salinidades compreendidas entre 50 e 80 g.L⁻¹. Apresenta uma redução drástica no número de espécies, talvez devido a problemas de osmoregulação, relacionados com a precipitação do óxido de ferro e de parte do carbonato de cálcio (Copeland, 1967). Esta morte de boa parte de microorganismos vem acompanhada neste setor pela aparição de certas algas

halotolerantes ou halófilas dominantes em ambientes hipersalinos, como *Nannochloropsis* sp., *Dunaliella viridis* e *Asteromonas gracilis*, e pela proliferação de populações de dípteros (*Ephydra* sp.) que depositam os ovos em placas flutuantes de *mat* desprendidas do fundo.

Fausto Filho (1984) identificou a presença de peixes (e.g., *Mugil* sp., *Eugerres* sp., *Diapterus* sp., *Archosargus unimaculatus*, *Eucinostomos* sp., entre outros.); Varela-Freire (2002, comunicação pessoal) registrou gêneros de aves típicas nestes ambientes hipersalinos da região: *Tachybaptus dominicus*, *Casmerodius albus*, *Nycticorax* spp., *Charadrius* spp., *Fluvicola nengeta* e *Hymantopus hymantopus*, bem como outras aves migratórias que encontram uma alimentação fácil e abundante. A presença destas aves é muito benéfica para o sistema biológico da salina, pois a contribuição em nutrientes de suas fezes e a agitação que produzem na água permite que se mantenham populações significativas de microalgas onde normalmente os nutrientes já estariam esgotados.

c) Setor intermediário II (“filtro biológico”)

Apresenta salinidades compreendidas entre 80 e 160 g.L⁻¹. Este gradiente de salinidade se converte em uma barreira para os predadores de *Artemia franciscana*. Portanto, é na metade deste setor onde se costumam encontrar densas populações de *A. franciscana*, capazes de clarificar efetivamente a coluna de água. Há uma diminuição drástica da produção fitoplanctônica e um predomínio da cianobactéria *Aphanothece* spp. As clorofíceas *D. salina* e *Asteromonas gracilis* ainda se encontram neste setor e provavelmente servem de alimento idôneo para populações de *A. franciscana* que são capazes de controlar o aumento exagerado das algas cianofíceas (**Fig. 23**).

Eventualmente se encontram cardumes de peixes não residentes, como *Eugerres* sp. e *Diapterus* sp. (Fausto Filho, 1984), depredando ativamente a

população de *Artemia* spp. até salinidades de 120 g.L⁻¹. Nesta zona ocorre a precipitação dos boratos (120 g.L⁻¹) e, posteriormente, a do sulfato de cálcio (150 g.L⁻¹). A profundidade em todo o setor intermediário vai diminuindo gradualmente até chegar aos 40-30 cm.

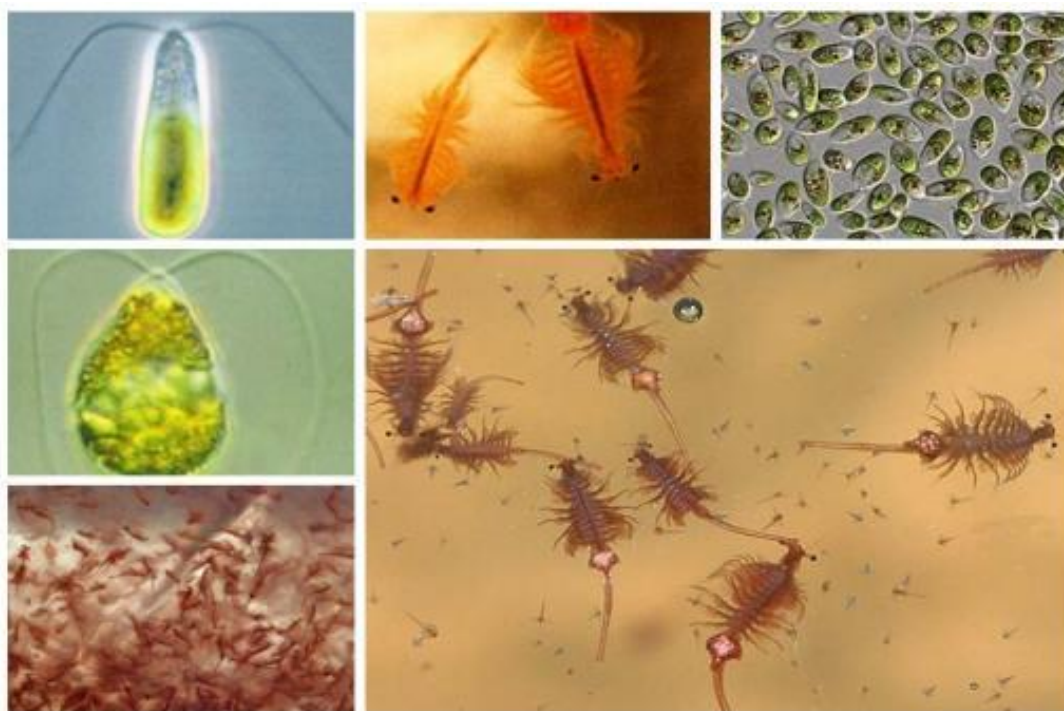


Figura 23 – Figura ilustrativa da biodiversidade encontrada no setor intermediário de uma Salina solar típica da região nordeste do Brasil. **Fonte** – De Medeiros Rocha (2011).

d) Setor final

Com uma salinidade compreendida entre 160 e 260 g.L⁻¹ costuma apresentar a salmoura totalmente transparente. Raramente favorece a presença de clorófitas em quantidades superiores a 10.000 cel.mL⁻¹. Quando isto ocorre a espécie dominante costuma ser *D. salina* (raramente *A. gracilis*). A partir de uma salinidade de 180 g.L⁻¹ ainda se encontram indivíduos de *A. franciscana*, porém

sua reprodução deixou de ser ovípara, mostrando um claro predomínio da oviparidade, ainda que com pouca fecundidade, dado que é muito reduzido o número de cistos por fêmea.

Em condições normais de funcionamento de uma salina, com um adequado seguimento do sistema biológico, é no início deste setor onde se levam a cabo as colheitas de biomassa viva de *A. franciscana* para sua re-inoculação no início do **Setor Intermediário II**, ou para a sua comercialização. Costuma ser também neste setor, nas margens dos evaporadores, onde se acumulam os cistos. O bentos continua dominado por cianobactéria do gênero *Aphanothece* e bactérias halofílicas (**Fig. 24**), apresentando uma típica cor alaranjada muito viva (Bauld, 1981; Oren, 2003).



Figura 24 – Figura ilustrativa da biodiversidade encontrada no setor de de evaporação final de uma Salina solar típica da região nordeste do Brasil. **Fonte** – De Medeiros Rocha (2011).

Pode-se considerar e denominar a este setor como uma “zona de depuração” já que é de grande importância para a purificação da salmoura. Costuma ter um tempo de retenção das águas algo maior que nos setores anteriores, favorecendo a sedimentação de partículas e, sobretudo, aumentando o processo de oxidação de moléculas orgânicas levado a cabo pelas bactérias halofílicas (Oren, 2003). Estas populações de bactérias necessitam de elevadas concentrações de proteína para seu desenvolvimento, que neste caso procede majoritariamente da decomposição dos restos de organismos dos gêneros *Artemia* e *Ephydra* (Davis, 1981, 2009).

e) Setor de cristalização

Depois de alcançar os 255-260 g.L⁻¹ de salinidade, a salmoura é separada nos tanques de cristalização, que ocupam cerca de 10% da área produtiva da salina, com uma profundidade superficial que oscila entre 20 e 30 cm, onde ocorrerá a deposição dos cristais de cloreto de sódio. A coloração desta área costuma ser avermelhada, devido a grande concentração de bactérias halofílicas ($\pm 10^6$ cel.mL⁻¹) (Oren, 2003). De acordo com Davis (1981), este aumento na concentração das bactérias não indica que estas salinidades sejam as mais adequadas para seu desenvolvimento. Em algumas das salinas do Brasil se utiliza biomassa de *Artemia franciscana* e de pupas de *Ephydra* sp para elaborar um extrato com o que se aduba a salmoura na entrada dos cristalizadores. Com esta prática se favorece a proliferação de populações de bactérias, que provocam uma coloração mais intensa nos cristalizadores, aumentando a captação da energia solar, produzindo um aumento na temperatura das salmouras, que costumam chegar aos 40° C, todo o que implica finalmente na obtenção de um cristal de NaCl mais compacto.

A microalga *D. salina* também contribui nesta coloração, porém sua presença em grandes quantidades ($\pm 50.000 \text{ cel.mL}^{-1}$) costuma indicar um excesso de níveis de nutrientes inorgânicos na salmoura, e sua distribuição normal não deveria ultrapassar o setor final de evaporadores em condições idôneas. Aos 280 g.L^{-1} de salinidade nas salmouras, o cloreto de sódio chega a sua concentração máxima e precipita (Davis e Giordano, 1996).

3.2.3 Influência do ecossistema no sistema de produção de sal

Em um ecossistema de salina, normalmente a maioria das microalgas são organismos bentônicos (Oren, 2009), principal componente da camada impermeabilizante da salina (*mat*) (Bauld, 1981). Todavia, é prática muito freqüente nas salinas re-circular a “água mãe” até as zonas de baixa salinidade do Setor inicial ou Intermediário I do circuito da salmoura. Com a entrada de nutrientes arrastados pela água do fundo dos evaporadores, de alta salinidade ($\pm 200 \text{ g.L}^{-1}$), *Aphanothece* sp. costuma dominar a coluna de água em concentrações de até $1.700.000 \text{ cel.mL}^{-1}$ (De Medeiros Rocha e Camara, 1993). Por sua característica de produção de cápsulas de mucilagem (**Fig. 25**), aumenta a viscosidade da salmoura e confere uma cor alaranjada turva, que por sua vez diminui (ou impede) a penetração da luz solar até o bentos.

Quando este fenômeno ocorre, o *mat* tende a morrer e a formar verdadeiras bolsas de gases (carbônico e/ou sulfídrico) que fazem que flutue até a superfície da salmoura, provocando uma maior liberação de nutrientes na coluna de água, eutrofizando ainda mais a salmoura. Isso impede uma precipitação normal do NaCl (**Fig. 26**), que então costuma cristalizar fracamente na camada superficial da salmoura, ou precipita lentamente, crescendo ou cristal através da solução. Neste caso se formam pirâmides cúbicas, escalonadas, invertidas, com um orifício central, chamadas *hopper shape* (Kaufmann, 1968; Amdouni, 2010). Este sal é

quebradiço, fraco, com impurezas ou salmoura em seu interior, e com alto Nível de umidade.

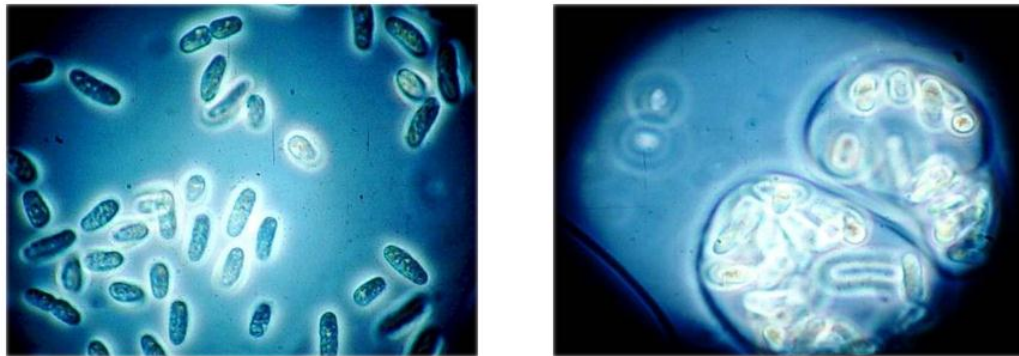


Figura 25 - *Aphanothece halophytica*, cianobactéria produtora de mucilagem em certos estágios de seu desenvolvimento que podem prejudicar seriamente à produção de cloreto de sódio nas salinas solares. **Fonte** – De Medeiros Rocha (2011).



Figura 26 – Cristalização anormal do cloreto de sódio devido ao aumento de viscosidade da salmoura provocado por microalgas. **Fonte** – De Medeiros Rocha (2011).

Outro problema que ocorre quando há um aumento exagerado nas populações destas microalgas é a alteração do ponto de precipitação de cada sal, aumentando substancialmente a presença de sais de sulfatos e magnésio nos

cristalizadores. Pode então produzir um colapso na produção de sal já que a colheita mecânica torna-se impraticável, pois a camada de sal não suporta o peso da maquinária utilizada para a coleta.

Além disso, se observa tanto na natureza, como em cultivos de laboratório que a cianobacteria *A. halophytica* não é um alimento idôneo para suportar uma população de *A. franciscana* durante períodos longos, sendo necessária a presença de clorofíceas que são habituais nestes ambientes. Com estas microalgas, principalmente *D. viridis* o *A. gracilis*, inclusive em quantidades consideradas pequenas (como podem ser $10.000 \text{ cél. mL}^{-1}$), há um aumento da sobrevivência de *A. franciscana*, podendo desenvolver efetivamente seu papel de filtração e estabilizadora do sistema biológico das salinas. Ao filtrar a salmoura, *A. franciscana* as converte em filamentos fecais que se fundem. A salmoura então recupera sua transparência típica gradualmente e provoca uma nova estabilização do *mat*.

As salinas são ambientes onde, tipicamente, a insolação costuma durar mais de 8h diárias e as baixas alturas da coluna da salmoura são mantidas com o propósito para induzir uma evaporação mais rápida da água; a capacidade térmica das salmouras tem um papel fundamental na distribuição da temperatura ao longo do circuito das salmouras na salina.

Sabe-se que nos circuitos de salmoura das salinas solares, aonde a água de mar vai gradualmente aumentando sua salinidade, há concomitantemente um aumento de temperatura nas diferentes salmouras. Estes efeitos combinados podem gerar verdadeiras barreiras fisiológicas impossibilitando a sobrevivência de grande número de espécies e selecionando outras mais aptas a suportar temperaturas a aproximadamente os 40°C.

3.2.4 Conclusão

A discussão empreendida ao longo deste artigo buscou contribuir para o preenchimento da enorme lacuna de revisão do conhecimento acerca da ecologia de salinas solares no Brasil. Nesse sentido, verifica-se que esses ambientes apresentam uma dinâmica ecológica no espaço e no tempo, onde o conhecimento existente sobre a diversidade e potencial uso dos recursos naturais aí encontradas aí são incipientes.

Para tanto, o manejo integrado das salinas solares implica na necessidade de acompanhamento contínuo e realização de estudos mais aprofundados acerca da identificação e caracterização da biota e processos ecológicos que ocorrem ao longo do circuito na salina, com um de toda a biota nela encontrada. Portanto, a compreensão das causas que influenciam na distribuição espacial dos seres vivos se constitui em uma ferramenta útil para as decisões sobre as práticas de engenharia e manejo a serem adotadas nas salinas.

3.3 - Caracterização do ambiente químico sedimentar em duas salinas solares

A manutenção de comunidades biológicas estáveis em salinas solares é importante para assegurar um sal de elevada qualidade e quantidade do sal produzido. Comunidades de fitoplâncton são especialmente importantes para a produção de sal pois aumentam a absorção da energia solar, aumentando a evaporação (Davis, 1990, 2000). No substrato destes ambientes, são comumente encontrados densos tapetes microbianos bentônicos (“*mats*”) compostos por de cianobactérias fototróficas (uma variedade de procariontes heterotróficos), diatomáceas, protozoários e outros microorganismos. Nos evaporadores com salinidade intermediária, o “*mat*” atua como sumidouro de nutrientes e, efetivamente atua impermeabilizando os evaporadores, evitando a infiltração e consequente perda de salmoura (Davis, 2000; Oren, 2002, 2009).

Esses biótopos nas salinas diferem-se significativamente ao longo de todo mundo em relação a quantidade de nutrientes das salmouras e o tempo de retenção da água no sistema, que depende principalmente das condições climáticas (Oren, 2002). As concentrações de nutrientes aí encontrados dependem de características hidrodinâmicas, químicas (inclusive da coluna da água e qualidade dos sedimentos), e biológicas (Davis, 2000; Joint et al., 2002; Pedrós-Alió, 2004; López et al., 2010). Portanto, o presente estudo tem como objetivo comparar os ambientes químicos sedimentares em duas salinas (**Fig. 27**), com a particularidade de terem pontos de captação de água distintos, isto é, uma capta direto no Oceano (Salina Miramar) e outra diretamente no estuário (Salina Francisco Menescal), ressaltando-se que nenhuma das referências bibliográficas pesquisadas apresentou esse tipo de amostragem em salinas.

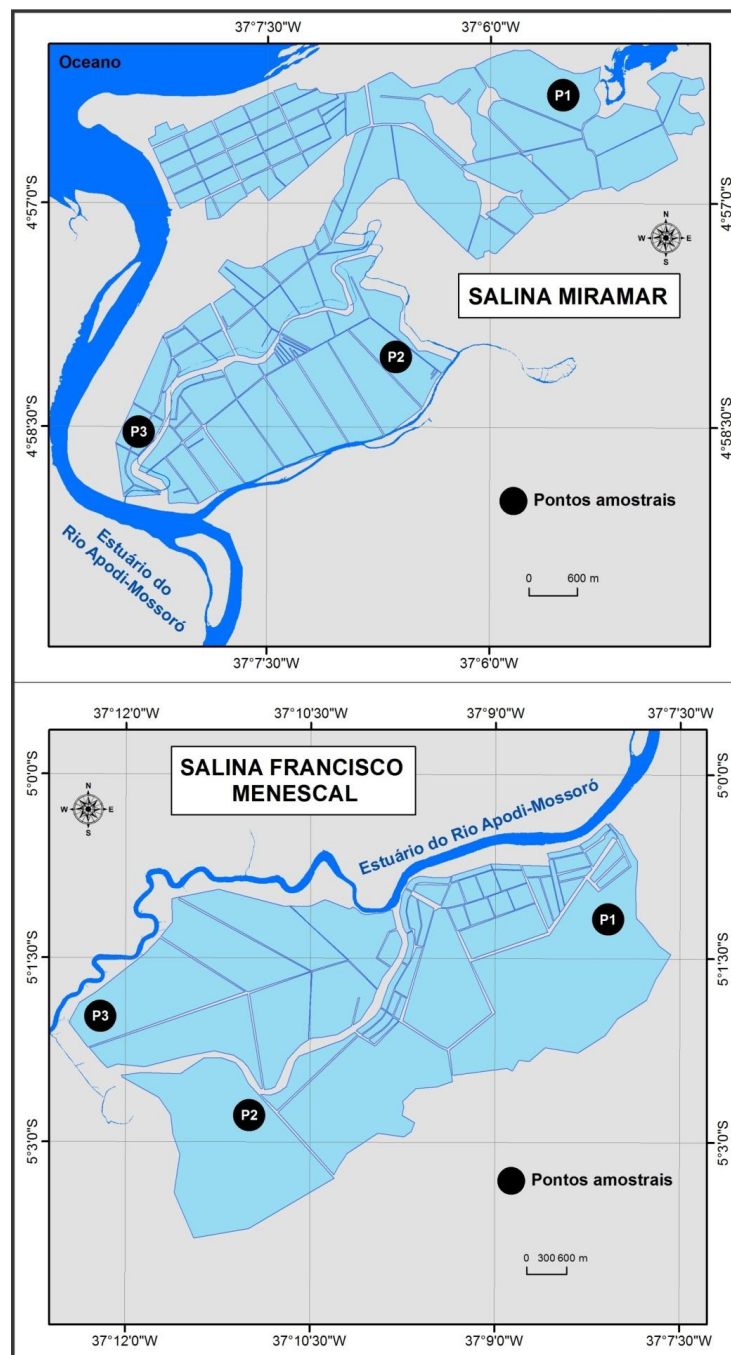


Figura 27 – Mapa de localização dos pontos amostrais das salinas Miramar (canto superior) e Francisco Menescal (canto inferior).
Fonte – Elaborado pelo autor.

3.3.1 Material e Métodos

As amostras de sedimentos foram coletadas em 03 evaporadores (salinidades 40, 70, 120) nas salinas Miramar e Francisco Menescal, respectivamente, no dia 30 de outubro de 2012 (**Fig. 26**). Estes ambientes foram escolhidos para se efetuar uma comparação a partir da entrada desses nutrientes, onde a Salina Miramar (Areia Branca/RN - 4°56'53"S e 5°09'30"S) capta água direto do mar, enquanto que a Francisco Menescal (Mossoró/RN - 37°09'36"W e 37° 17'43"W) capta água na porção intermediária do estuário.

Corroborando com a literatura clássica sobre a precipitação fracionada de sais descrita no capítulo 1 (**Fig. 1**), verificou-se a ausência de sedimentos nos evaporadores cujas salinidades estavam acima de 150 gL⁻¹, ocorrendo a formação de uma crosta superficial de gipsita (CaSO₄). Portanto, os pontos amostrais foram delimitados em evaporadores com as salinidades de 40 (P1), 70 (P2) e 120 gL⁻¹ (P3). Em cada evaporador, foram coletados 10 cores, seccionados *in situ*, em 03 perfis (Perfil A – 0 a 5 cm; Perfil B – 5 a 10 cm; Perfil C = 10 a 15 cm), obtendo-se uma amostra composta por cada perfil por evaporador, totalizando 27 amostras por salina (**Fig. 28**).

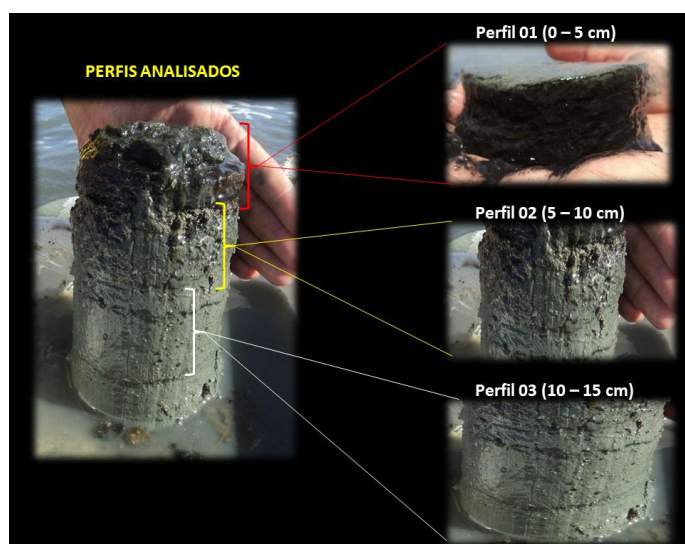


Figura 28 – Modleio ilustrativo das coletas efetuadas nos diferentes perfis sedimentares analisados nos evaporadores das salinas Miramar (canto superior) e Francisco Menescal.

As amostras foram coletadas com o auxílio de m tubo PVC, retirando-se 1,0 kg de cada perfil para a determinação dos seguintes parâmetros: pH, cálcio, carbono, nitrogênio e fósforo totais, matéria orgânica e granulometria. As medidas do pH foram realizadas *in situ* em cada perfil, utilizando-se um pH-metro modelo PH-2500. As amostras foram levadas ao laboratório, secas à 60 °C e em seguida peneiradas em malha de nylon <1 mm. Após o peneiramento as amostras foram preservadas em frascos hermeticamente fechados em ambiente seco, climatizado a 20°C até serem analisadas.

Com relação às análises químicas, procedeu-se à determinação de: C total e a matéria orgânica pelo método de Yoemans e Bremner (1988); cálcio, fósforo e nitrogênio por extração com HCl mol.L⁻¹ e determinação por espectrofotometria de absorção atômica. Todas as análises seguiram os métodos descritos em Embrapa (1997) e foram realizadas no Laboratório de Pesquisa de Solos da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte.

A análise da variação dos parâmetros geoquímicos analisados foi realizada por meio da estatística multivariada (Hardle e Simar, 2007), por meio de Análises de *Cluster*, a partir da medida de distância Euclidiana quadrática, com auxílio do software PRIMER v. 5.0 (Plymouth Routines in Multivariate Ecological Research) (Clarke e Gorley, 2001). As projeções consideradas para as análises estatísticas foram os vetores das variáveis ambientais (propriedades físico-químicas do sedimento, Tabela 7) e os evaporadores.

3.3.2 Resultados

De acordo com as análises realizadas, todas as amostras representam sedimentos inconsolidados, cujos valores de cada parâmetro estão na Tabela 7. Com relação à composição granulométrica, as concentrações areia, silte e argila mantiveram em todos os pontos a proporção silte>argila>areia (**Fig. 29**). O silte

variou amplamente entre os diferentes perfis amostrais, porém tendencialmente os valores mais elevados foram identificados na Salina Francisco Menescal.

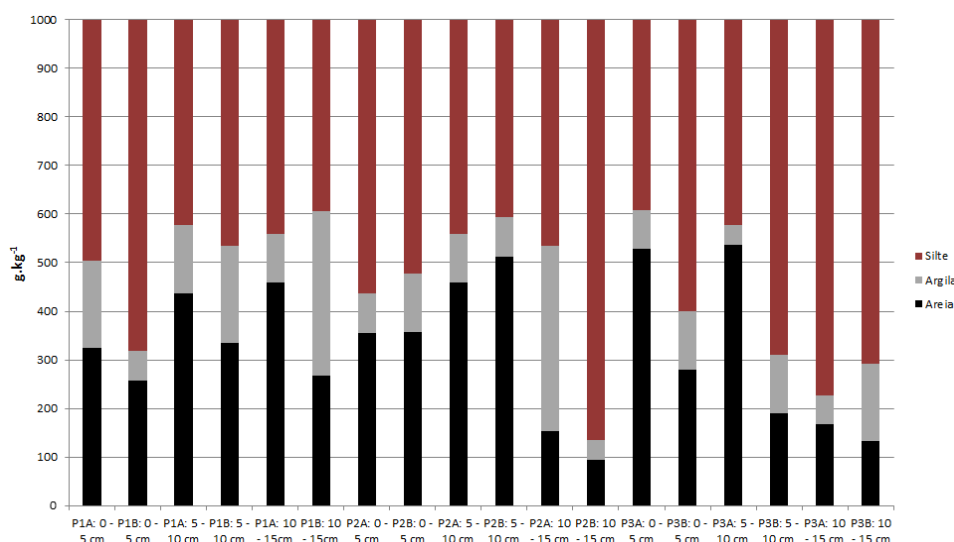


Figura 29 - Variação granulométrica nos sedimentos analisados das salinas Miramar (A) e Francisco Menescal (B).

O pH das amostras foi considerado alcalino em ambas as salinas, onde os menores valores de ambas as salinas foram identificados nas amostras coletadas no perfil 3 (10 – 15 cm) em evaporadores com salinidade de 120 g.L⁻¹ (7,68 e 7,99, respectivamente) (**Fig. 30**). Já os teores do cálcio também apresentaram uma variação entre as amostras na **Salina Miramar** e na **Salina F. Menescal**, mas sem um padrão claramente definido (**Fig. 31**). Quando relacionado com a salinidade, este parâmetro apresentou variações nos valores entre os diferentes perfis em ambas as salinas, também sem a efetiva definição de um padrão.

Tabela 7 - Valores de cada parâmetro analisado nos evaporadores das Salinas Miramar e Fransco Menescal (RN-Brasil): PT – Fósforo total, NT – Nitrogênio total, CT – Carbono total.

SALINA		Salina Miramar							
Parâmetros	Evaporador 1 (40 g.L ⁻¹)			Evaporador 2 (70 g.L ⁻¹)			Evaporador 3 (120 g.L ⁻¹)		
	0-5 cm	5 - 10 cm	10 - 15 cm	0-5 cm	5 - 10 cm	10 - 15 cm	0-5 cm	5 - 10 cm	10 - 15 cm
pH	8,08	8,15	8,02	8,14	8,12	8,03	8,72	8,18	7,68
Ca ⁺ (mg.kg ⁻¹)	17,85	14,70	16,80	15,30	38,00	28,20	11,53	109,04	21,94
PT (mg.kg ⁻¹)	630,00	489,00	382,00	949,00	773,00	875,00	451,00	347,00	625,00
NT (g.dm ⁻³)	1,34	1,05	0,79	5,40	4,48	2,45	3,82	1,37	1,50
CT (g.kg ⁻¹)	2,00	1,88	1,51	5,20	4,61	2,69	3,80	2,00	2,20
MO (g.kg ⁻¹)	34,51	32,48	26,07	89,58	79,44	46,34	65,58	34,55	37,86
Granulometria									
Areia (g.kg ⁻¹)	325	437	512	356	460	154	528	537	167
Argila (g.kg ⁻¹)	180	140	160	80	100	380	80	40	60
Silte (g.kg ⁻¹)	495	423	328	564	440	466	392	423	773

SALINA		Salina Francisco Menescal							
Parâmetros	Evaporador 1 (40 g.L ⁻¹)			Evaporador 2 (70 g.L ⁻¹)			Evaporador 3 (120 g.L ⁻¹)		
	0-5 cm	5 - 10 cm	10 - 15 cm	0-5 cm	5 - 10 cm	10 - 15 cm	0-5 cm	5 - 10 cm	10 - 15 cm
pH	8,48	8,32	8,17	8,08	8,53	8,18	8,19	8,22	7,99
Ca ⁺ (mg.kg)	21,23	14,80	18,66	30,23	46,01	6,83	9,60	13,37	6,50
PT (mg.kg)	442,00	372,00	394,00	715,00	482,00	446,00	757,00	535,00	670,00
NT (g.dm-3)	2,32	1,76	1,63	9,86	5,19	1,26	6,27	4,08	1,97
CT (g.kg-1)	2,75	2,69	2,47	8,28	4,98	2,20	6,02	4,38	3,30
MO (g.kg-1)	47,38	46,34	42,62	142,75	85,86	37,86	103,85	75,51	56,89
Granulometria									
Areia (g.kg ⁻¹)	258	335	267	357	513	95	280	190	133
Argila (g.kg ⁻¹)	60	200	340	120	80	40	120	120	160
Silte (g.kg ⁻¹)	682	465	393	523	407	865	600	690	707

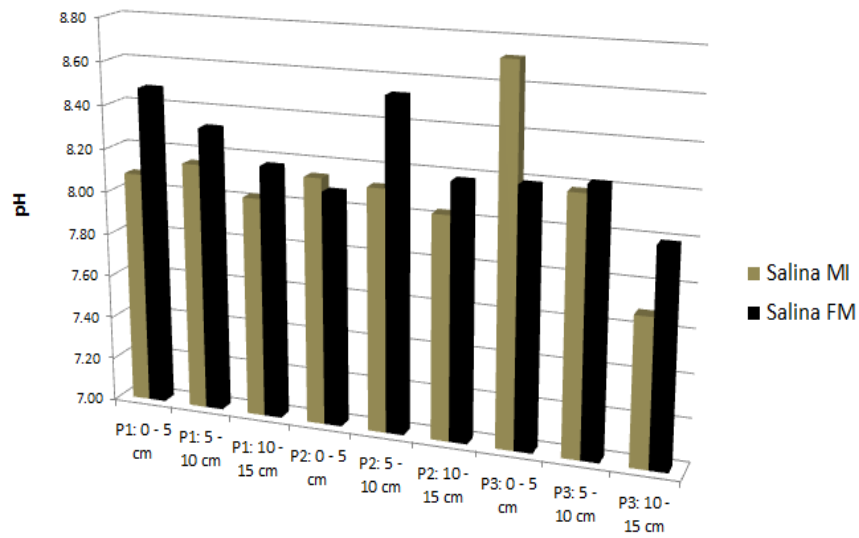


Figura 30 – Variação dos valores de pH nos sedimentos analisados.

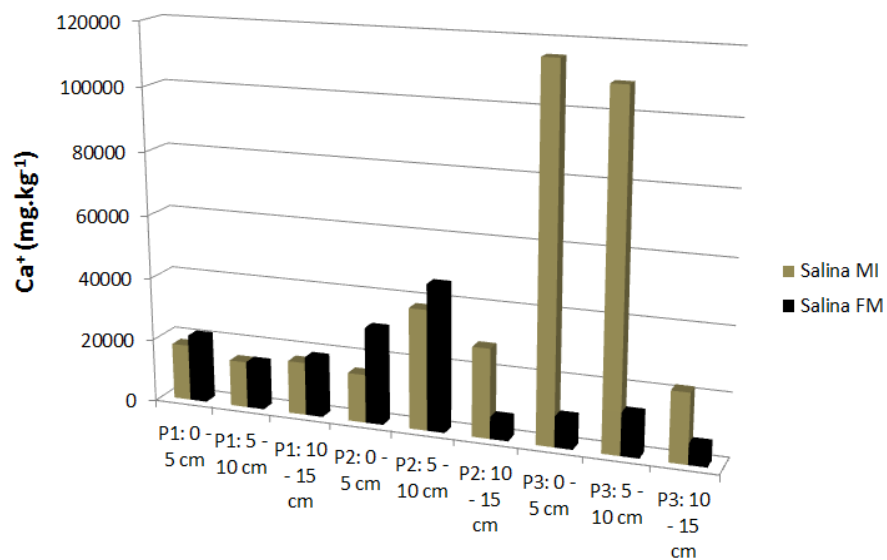


Figura 31 - Valores de Ca^{2+} nos sedimentos analisados.

Por sua vez, os perfis amostrados na **Salina F. Menescal** apresentaram oscilações dos níveis de Ca^{+} à 40 g.L^{-1} , também com uma oscilação entre os perfis analisados à 70 g.L^{-1} e a 120 g.L^{-1} .

Em termos de nutrientes, os maiores valores dos teores de nitrogênio total em ambas as salinas foram identificados nas amostras coletadas no perfil 1 (0 – 5 cm), em evaporadores com salinidade de 70 g.L^{-1} ($5,40$ e $9,86 \text{ g.dm}^{-3}$, respectivamente) (**Fig. 32**). Quando analisado em termos de diferentes profundidades e entre os pontos amostrais, este parâmetro apresentou variações nos valores entre os diferentes perfis em ambas as salinas, com as maiores concentrações na camada superficial do sedimento (0 – 5 cm), seguida de uma redução progressiva a medida que se aumentou a profundidade.

Os menores teores deste nutriente foram identificados no primeiro evaporador amostrado na **Salina Miramar** (P1). No ponto 2 foram obtidos os valores intermediários de nitrogênio total, assim como no P3 (P3a = $3,82$, P3b = $1,37$ e P3c = 1.5 g.dm^{-3}).

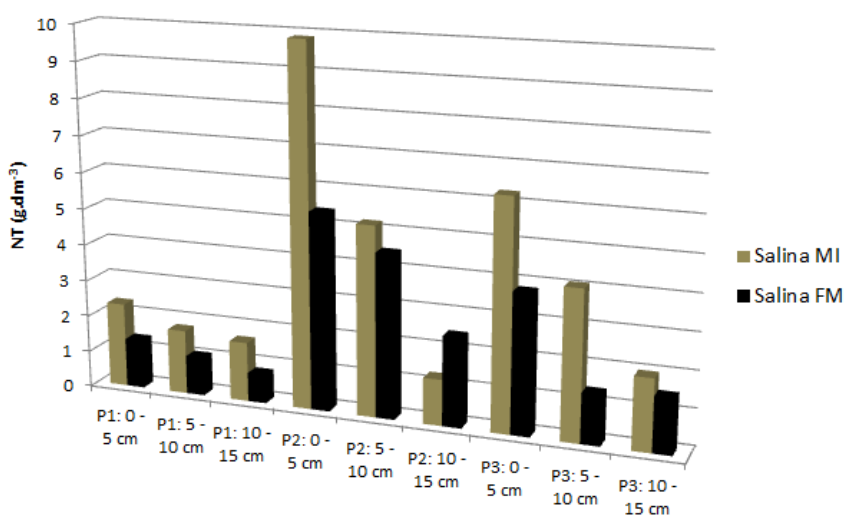


Figura 32- Variação dos valores de NT nos sedimentos analisados.

Assim como na outra salina, os perfis amostrados na **Salina F. Menescal** apresentaram os menores teores de nitrogênio total à 40 g.L⁻¹, com as maiores concentrações à 70 g.L⁻¹ e valores intermediários à 120 g.L⁻¹. Por sua vez, os teores de fósforo total também apresentaram uma variação entre as amostras na **Salina Miramar** e as da **Salina F. Menescal**, os valores mais elevados foram identificados nas amostras coletadas no perfil 1 (0 – 5 cm), principalmente em evaporadores com salinidades de 70 e 120 g.L⁻¹ (**Fig. 33**).

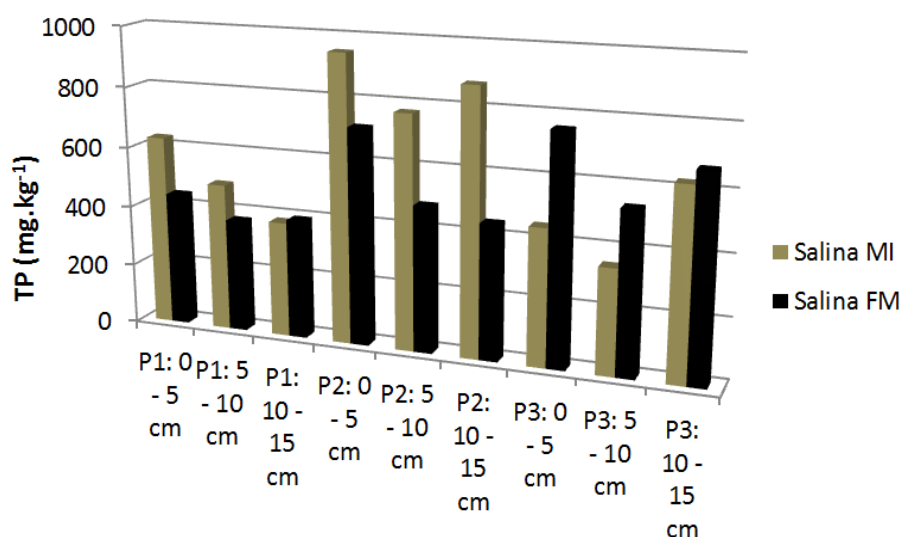


Figura 33 - Variação dos valores de PT nos sedimentos analisados.

Já os perfis amostrados na **Salina F. Menescal** apresentaram os menores teores de nitrogênio total à 40 g.L⁻¹, identificando-se os valores mais elevados à 120 g.L⁻¹. Portanto, analisando-se os dados em relação às diferentes profundidades e pontos amostrais, este parâmetro apresentou variações nos valores entre os

diferentes perfis em ambas as salinas. As maiores concentrações deste parâmetro foram identificadas na camada superficial do sedimento (0 – 5 cm), porém os menores valores no perfil 2 (10 – 15cm), seguida de uma concentração mais elevada em relação ao perfil anterior.

Com relação aos teores de carbono total, assim como o nitrogênio e fósforo, os valores mais elevados de ambas as salinas foram identificados nas amostras coletadas no perfil 1 (0 – 5 cm), em evaporadores com salinidade de 70 g.L⁻¹ e 120 g.L⁻¹ (5,20 e 8,28 g.kg⁻¹, respectivamente) seguida de uma redução progressiva a medida que se aumentou a profundidade (**Fig. 34**). Associado aos valores de carbono total, foi avaliada a matéria orgânica encontrada nas amostras de sedimento nas duas salinas analisadas. Os valores mais elevados deste parâmetro foram encontrados no primeiro perfil analisado (0 – 5 cm), coletados nos evaporadores com salinidade de 70 g.L⁻¹ (**Fig. 35**).

Quando analisados através dos gráficos de *Cluster*, verificou-se que embora evidentemente os ambientes químicos sedimentares eram diferenciados em função da salinidade, os perfis de ambas as salinas foram agrupados em ambas as análises. A análise permitiu se observar uma maior semelhança entre os evaporadores da Salina Miramar e Francisco Menescal com salinidades de 40 g.L⁻¹, do que entre os evaporadores com salinidade de 40, 70 e 120 g.L⁻¹ dentro da mesma salina, onde entre ambas as salinas não se verificou essa semelhança entre os evaporadores com salinidade entre 70 e 120 g.L⁻¹ (**Fig. 36 A e B**).

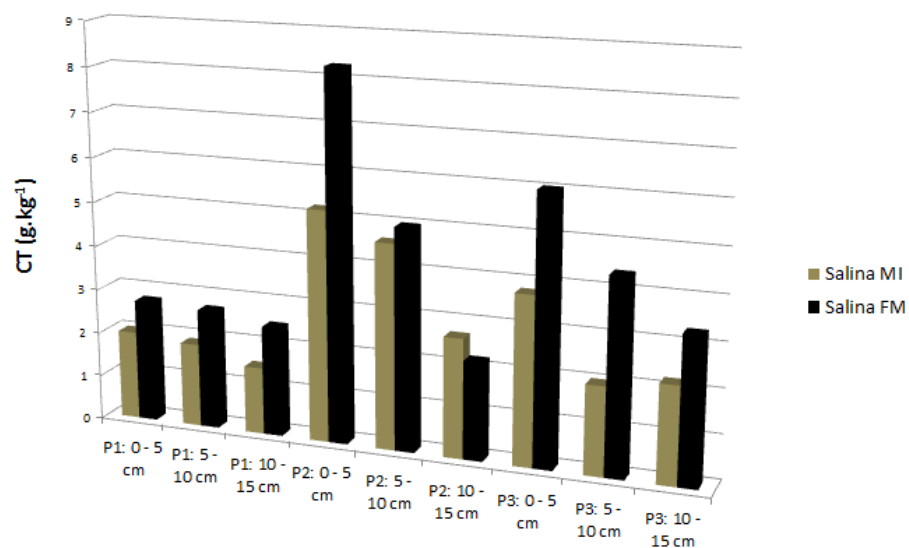


Figura 34 - Variação dos valores de CT nos sedimentos analisados.

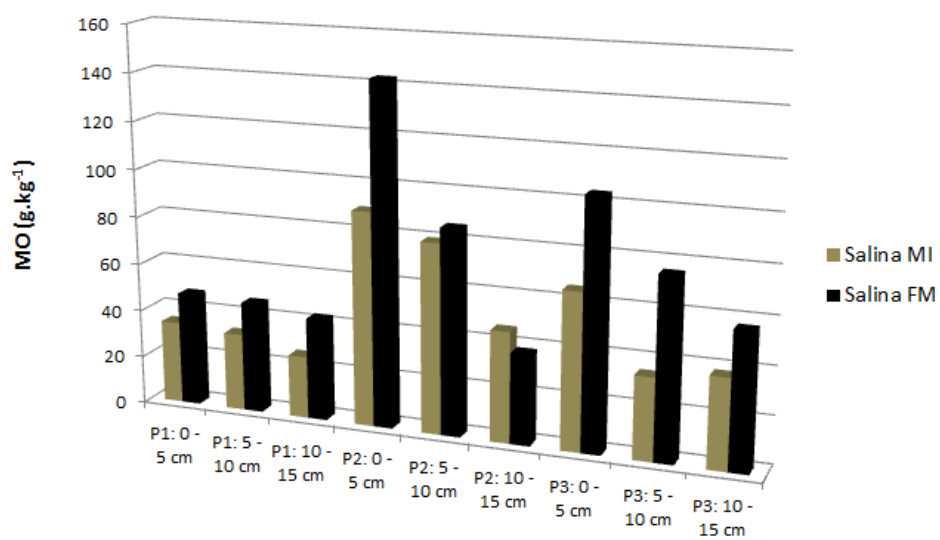
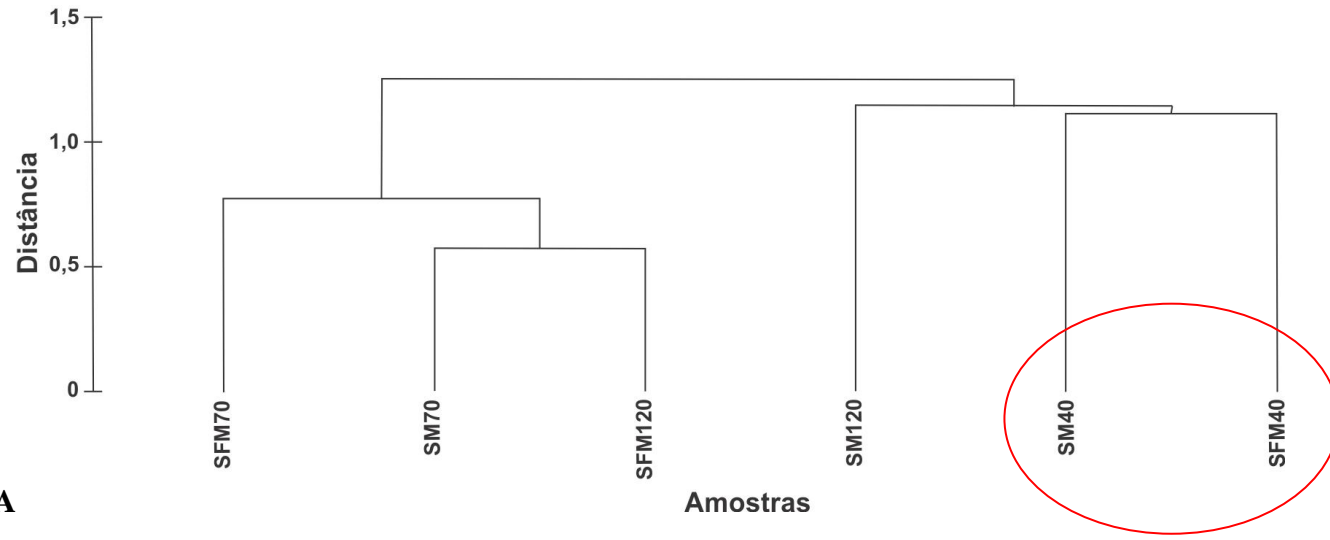


Figura 35 - Variação dos valores de matéria orgânica (MO) nos sedimentos analisados das salinas Miramar e Francisco Menescal.

Média do grupo



Média do grupo



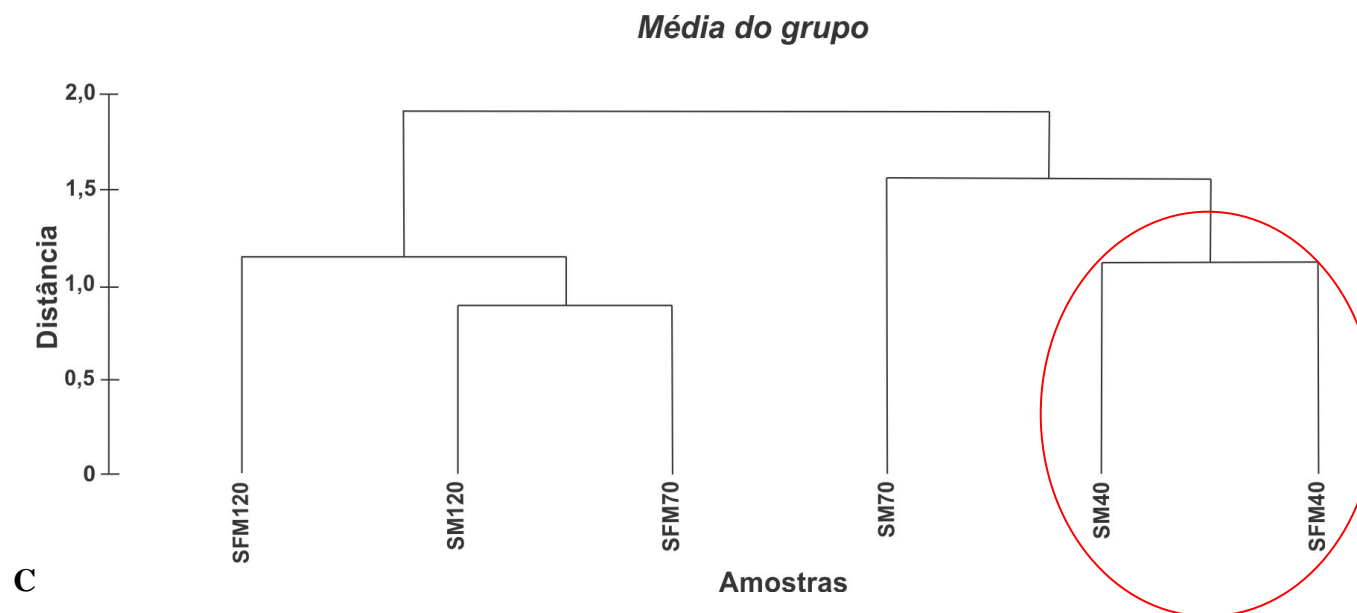


Figura 36 – Gráficos da análise de *Cluster* realizada nos parâmetros determinados nas amostras de sedimentos coletadas nas salinas Miramar e Francisco Menescal (B1 – Perfil 0 – 5 cm, B2 – Perfil 5 – 10 cm e B3 – Perfil 10 – 15 cm) .

3.3.3 Discussão

Conforme observado nos resultados, embora ambas as salinas tenham pontos de captação diferentes (oceano e estuário), não foi identificada uma diferenciação entre os ambientes químicos das duas salinas. Verificou-se que a Salina Francisco Menescal apresentou os maiores teores de carbono e matéria nas amostras analisadas, possivelmente derivados da fonte de captação estuarina. Assim como o carbono, o nitrogênio e fósforo total apresentaram concentrações sempre superiores nos evaporadores com salinidades entre 70 e 120 gL⁻¹. Portanto, evidencia-se que nos ambientes analisados, as concentrações de nutrientes aumentaram com o aumento da salinidade. Embora os valores de matéria orgânica e de carbono total sejam maiores da salina com captação estuarina, os perfis do primeiro evaporador foram mais semelhantes entre ambas as salinas do que entre os diferentes evaporadores analisados dentro da mesma salina.

Ambas as salinas apresentaram um aumento da matéria orgânica, do carbono total, do nitrogênio e do fósforo nos evaporadores 2 e 3, mas sem um claro padrão definido entre as salinas. Isto pode ser devido tanto à concentração por evaporação da água e a produtividade dos “mats” (Oren, 2009), não devendo ser descartada a atuação das aves aquáticas que são freqüentemente encontradas em grandes números próximos aos evaporadores, onde os seus excrementos podem também aumentar a carga de nutrientes das salinas (e.g. Pedros-Alió et al., 2000; Masero, 2003; Tachkaert et al., 2006; López et al., 2010).

Com relação aos valores de nitrogênio e fósforo totais, estes foram mais elevados que os obtidos em salinas da Índia por Ponnuchamy et al. (2006), onde variaram entre 0,05 a 1,17g.kg⁻¹ e 4,03 a 18,6 mg.kg⁻¹, respectivamente. Já as concentrações de matéria orgânica e carbono total, as salinas brasileiras analisadas também apresentaram valores mais elevados que os obtidos em salinas da Índia, 0,33 a 4,96 g.kg⁻¹ e 0,15 a 3,95 g.kg⁻¹, respectivamente, porém os valores de carbono total foram semelhantes aos encontrados por Shumilin et al. (2002) em uma salina no México 0,09 a 12,58 g.kg⁻¹. No caso especial das salinas indianas

analisadas, os valores elevados dos nutrientes das salinas brasileiras são explicados pela granulometria dos sedimento, onde as indianas apresentaram sedimento arenoso variando entre 90 e 95% (Ponnuchamy et al., 2006), enquanto que as salinas do Brasil e do México apresentaram sedimentos majoritariamente silto-argilosos (50 – 60%).

3.3.4 Conclusão

Os processos que ocorrem ao nível do sedimento ao longo da sequência de produção de sal, mais especificamente entre os evaporadores, não evidenciaram a influência do local de captação entre a Salina Miramar e a Francisco Menescal.

3.4 - Caracterização da variação nictimeral de parâmetros limnológicos em uma salina solar

As salinas diferem-se significativamente ao longo de todo mundo em relação a quantidade de nutrientes das salmouras e o tempo de retenção da água no sistema, o qual depende principalmente das condições climáticas (Oren, 2002). Nestes ecossistemas, as concentrações de nutrientes dentro de um único evaporador também pode variar consideravelmente, mesmo dentro de alguns dias, conforme mostrado por Joint et al. (2002) nas salinas de Santa Pola, Alicante, Espanha.

Essas variações dependem da localização geográfica, estação, práticas de gestão, e muitos outros fatores, onde por vezes os nutrientes (azoto e/ou fósforo) são adicionadas como fertilizantes para melhorar o desenvolvimento dos tapetes microbianos bentônicos ou comunidades planctônicas (Davis, 1993; De Medeiros Rocha e Camara, 1993; Oren, 2009). As concentrações desses nutrientes encontrados nas salinas também estão relacionadas com as características hidrodinâmicas, químicas (inclusive da coluna da água e qualidade dos sedimentos), e biológicas encontradas na salina (Davis, 2000; Joint et al., 2002; Pedrós-Alió, 2004; López et al., 2010).

Grande parte dessa carga de nutrientes na coluna d'água é oriunda de fontes externas, através da descarga de água doce de rios eutrofizados, nos quais as salinas fazem a captação, assim como de processos endógenos, como ressuspensão/remineralização do sedimento e águas de sedimento intersticial (De Medeiros Rocha e Câmara, 1993; Oren, 2009; Segal, 2009). Excrementos de pássaros, ricos em nitrogênio e fósforo, podem fornecer uma adição significativa de nutrientes, uma vez que grandes bandos de aves são atraídos para as salinas para se alimentar do zooplâncton (Davis, 1978).

Considerando a ausência total de dados limnológicos analisados em uma salina brasileira durante um período contínuo, este tipo de investigação mostra-

se de fundamental importância para o conhecimento mais detalhado acerca da dinâmica dos nutrientes ao longo do circuito de produção de sal nas salinas tropicais. Portanto, este capítulo tratará de uma análise da variação nictimeral das concentrações de nutrientes e pigmentos na Salina Miramar (Areia Branca-RN, Brasil). Esta salina foi escolhida em função de efetuar sua captação de maneira contínua ao longo de todo o ano pois está posicionada direto para o Oceano Atlântico e não para um estuário (**Fig. 37**).

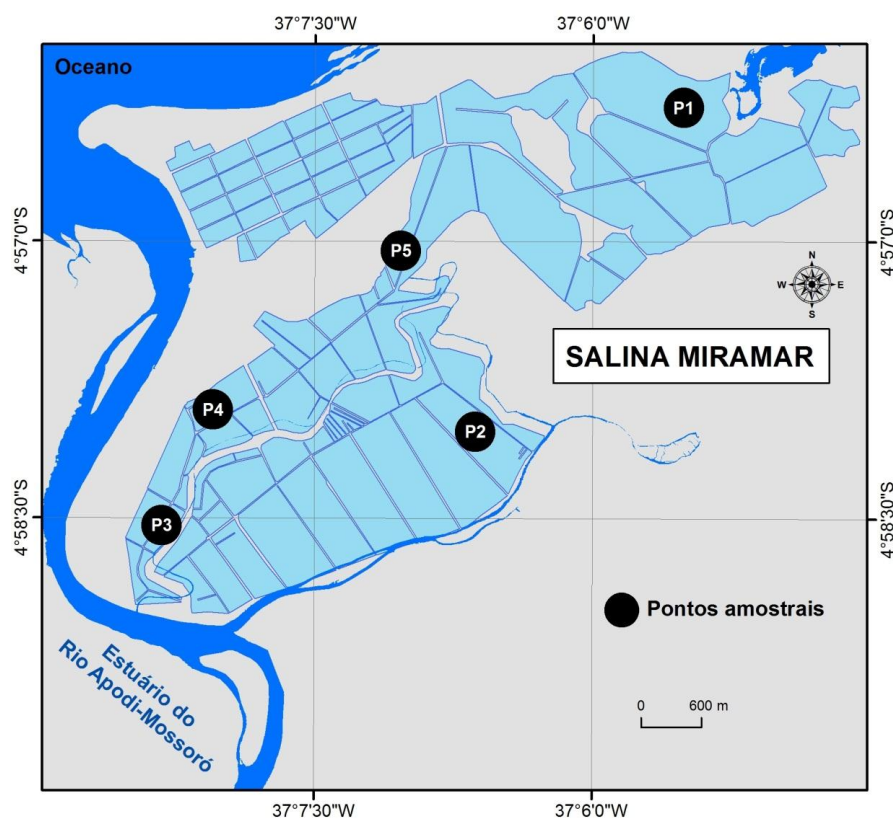


Figura 37. Localização da Salina Miramar, situada nas margens do estuário do Rio Apodi-Mossoró (RN-Brasil).

3.4.1 Material e métodos

Seguindo a descrição desse circuito da salmoura, foram definidos 05 pontos amostrais na salina, a fim de se avaliar a variação e as concentrações de parâmetros físico-químicos e biológicos ao longo de cada setor do circuito produtivo. Os evaporadores foram amostrados no dia 15 de outubro de 2012 a cada intervalo de 3 h, cujos pontos foram plotados na direção do fluxo da salmoura (35 a 210 gL⁻¹) com base no princípio da precipitação fracionada dos sais (Copeland, 1968), compreendendo as seguintes zonas: P1) Zona Inicial de Evaporação (35 gL⁻¹), P2) Zona Intermediária de Evaporação (70 gL⁻¹), P3) Zona Final de Evaporação (105 gL⁻¹), P4) Zona Inicial de Concentração (140 gL⁻¹) e P5) Zona Intermediária de Concentração (190 gL⁻¹).

A salinidade (gL⁻¹) foi mensurada com o auxílio de Refratômetro Portátil Fisher, enquanto que os valores da temperatura da água (°C) e pH foram obtidos também *in situ* através de um medidor de pH e termômetro digital portátil, marca Hanna). Por sua vez, o oxigênio dissolvido foi determinado utilizando-se o método de Winkler (Golterman et al., 1978). As amostras foram filtradas e adequadamente preservadas como descrito em Lopes et al. (2008), analisando-se os seguintes parâmetros: amônia (NH₃⁻), nitrato (NO₃⁻) e nitrogênio total (NT), fósforo total (PT) e ortofosfato (PO₄-P). As concentrações desses nutrientes inorgânicos foram determinadas pelo método colorimétrico, seguindo os descritos em APHA (1992), Mackereth (1978) e Rodier (1975). Por fim, as concentrações de clorofila-*a* e feofitina foram obtidas por espectrofotometria, também com base nos procedimentos descritos em APHA (1992). Todas as análises foram realizadas no Laboratório de Ecologia Aquática da Universidade Estadual na Paraíba (Campina Grande-PB, Brasil), sob a supervisão do Prof. Dr. José Etham L. Barbosa.

3.4.2 Resultados

Os valores da temperatura apresentam um claro padrão de variação diária deste parâmetro ao longo da salina analisada, com valores entre os 26°C e 31°C durante o dia e 26°C e 24 durante a noite (**Fig. 38**), sendo semelhante entre os evaporadores. Por sua vez, o pH apresentou sua maior variação de no evaporador P1, mas sem um padrão claramente definido ao longo do ciclo de 24 horas. No evaporador P5, os valores deste parâmetro foram muito semelhantes ao longo do ciclo, não observando-se um padrão de variação em função do aumento de salinidade.

Já os valores do oxigênio dissolvido apresentaram um claro padrão de variação diário no evaporador P1 (**Fig. 49**), com concentrações de oxigênio mais elevadas durante o dia (8 mgL⁻¹) e mais baixas durante a noite (cerca de 6 mgL⁻¹), período em que a respiração não é compensada pela fotossíntese. Este padrão ainda é observável no evaporador P2, sendo, no entanto os valores de máximos e mínimos inferiores. Ao longo do gradiente de salinidade a amplitude de variação diária das concentrações deste parâmetro deixam de ser perceptíveis, variando entre 2 e 4 mgL⁻¹ aproximadamente.

As concentrações de amônia apresentaram uma clara variação ao longo do ciclo de 24 horas (**Fig. 40**), em particular no evaporador P1, com valores mais baixos durante o dia e mais baixos durante a noite, acompanhando, em sentido inverso, a variação da concentração de oxigênio ao longo do dia. Exatamente tal como no oxigênio, este padrão deixa de ser visível à medida que aumenta a salinidade nos evaporadores, apresentando os evaporadores P4 e P5 os valores mais baixos e mais constantes ao longo do ciclo.

As concentrações de nitrato não apresentaram uma clara variação ao longo do ciclo de 24 horas (**Fig. 41**), nem entre evaporadores, embora sejam tendencialmente mais baixos nos evaporadores P4 e P5, com valores

maioritariamente inferiores a $70 \mu\text{g L}^{-1}$, enquanto que nos evaporadores P1 a P3 variam maioritariamente entre $60\text{-}100 \mu\text{g L}^{-1}$.

As concentrações de NT e de PT não apresentam um padrão de variação com o ciclo de 24 horas (**Fig. 42 e 43**). Relativamente ao gradiente de salinidade, apresentaram concentrações comparativamente mais baixas no 1º evaporador (salinidade 40), cerca de $50 \mu\text{g L}^{-1}$ e de $40 \mu\text{g L}^{-1}$, respectivamente, seguido do evaporador P5 (salinidade 190). No caso do NT As concentrações aumentam nos evaporadores com salinidades de 70, 120 e 150 g L^{-1} , atingindo valores entre cerca de $110 \mu\text{g L}^{-1}$ e de $260 \mu\text{g L}^{-1}$, voltando a baixar no ultimo evaporador (salinidade 190 g L^{-1}) para valores de cerca de $110 \mu\text{g L}^{-1}$ e de $160 \mu\text{g L}^{-1}$. No caso do PT as concentrações são mais elevadas nos evaporadores com salinidades de 120 e 150 g L^{-1} , com valores de cerca de $100 \mu\text{g L}^{-1}$ e de $200 \mu\text{g L}^{-1}$.

As concentrações de clorofila *a* não apresentam um padrão de variação ao longo do período de amostragem (**Fig. 44**). Relativamente ao gradiente de salinidade, apresentaram concentrações abaixo do limite de detecção no evaporador P5 (salinidade 190 g L^{-1}), seguido do evaporador P1 (salinidade 40 g L^{-1}), cerca de $1\text{-}2 \mu\text{g L}^{-1}$. Embora com grande variação entre os intervalos de coleta, as concentrações mais elevadas foram observadas nos evaporadores com salinidades de 120 e 150 g L^{-1} .

As concentrações de feofitina também não apresentam um padrão de variação ao longo do período de amostragem (**Fig. 45**). Relativamente ao gradiente de salinidade, apresentaram tendencialmente concentrações mais baixas no evaporador P5 (salinidade 190 g L^{-1}), seguido do evaporador P1 (salinidade 40 g L^{-1}). Embora com grande variação entre os intervalos de coleta, as concentrações mais elevadas foram observadas nos evaporadores com salinidades de 120 e 150 g L^{-1} .

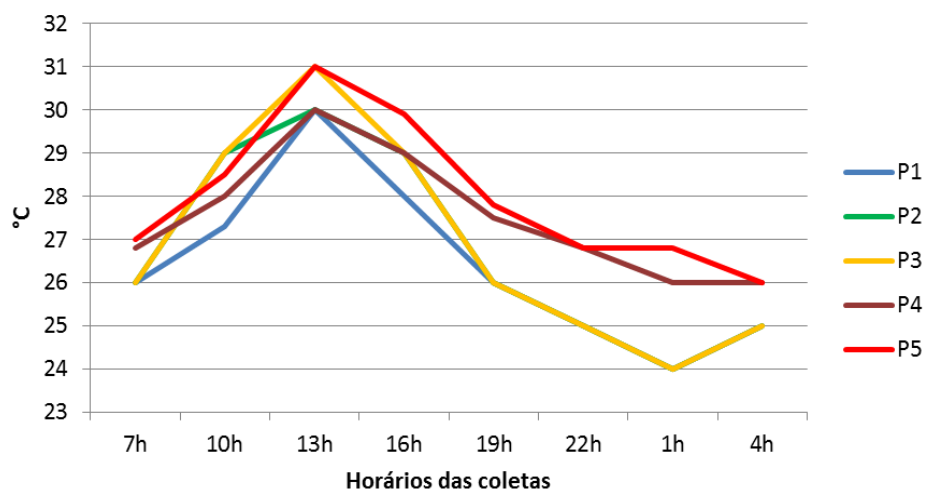


Figura 38. Variação da temperatura ao longo da Salina Miramar nos diferentes intervalos de coleta.

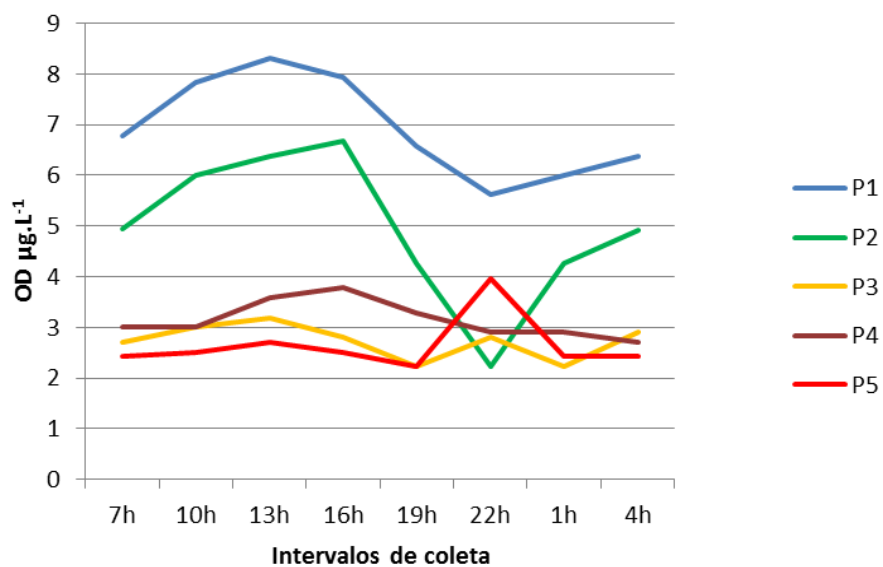


Figura 39. Variação do OD ao longo da Salina Miramar nos diferentes intervalos de coleta.

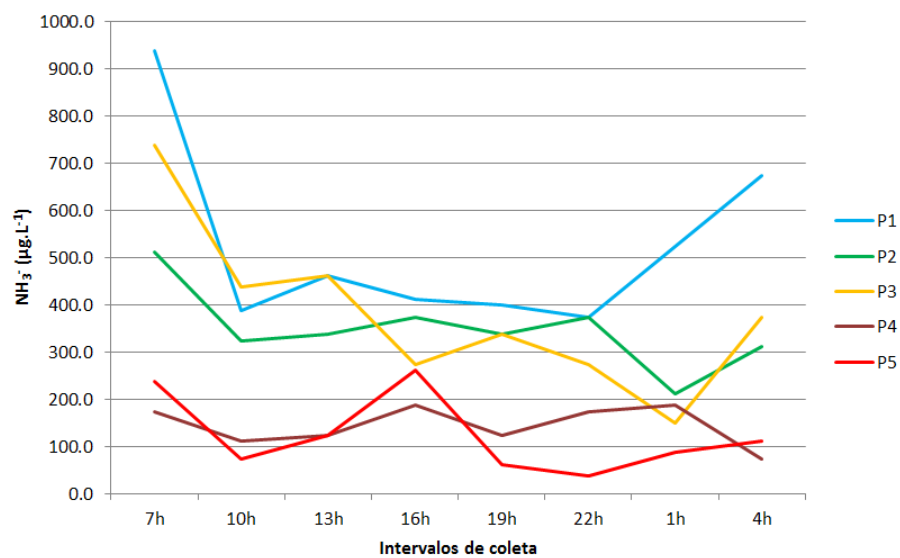


Figura 40. Variação do amônia ao longo da Salina Miramar nos diferentes intervalos de coleta.

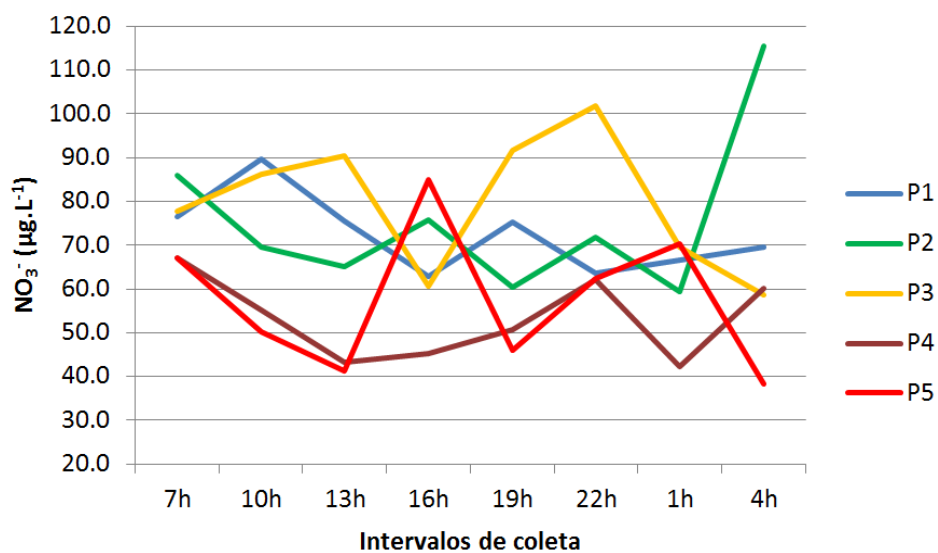


Figura 41. Variação do nitrato ao longo da Salina Miramar nos diferentes intervalos de coleta.

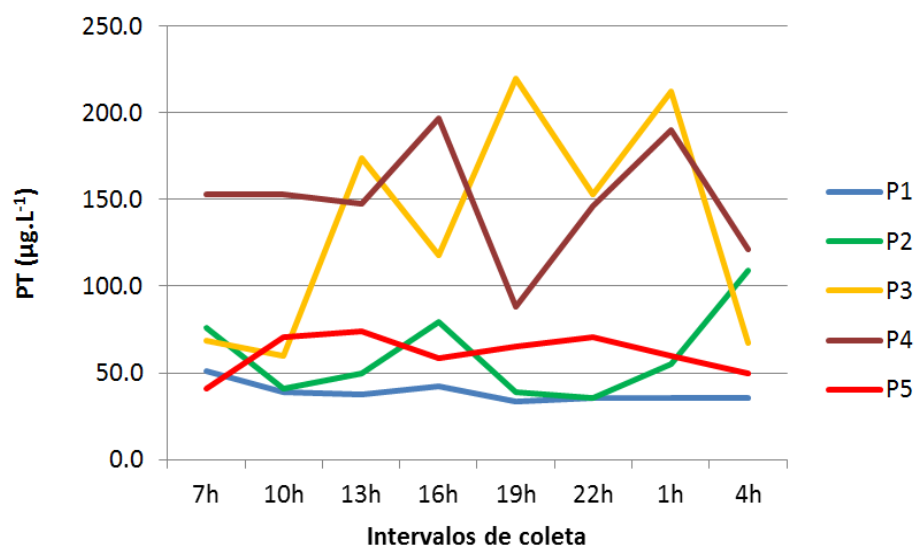


Figura 42. Variação do fósforo total ao longo da Salina Miramar nos diferentes intervalos de coleta.

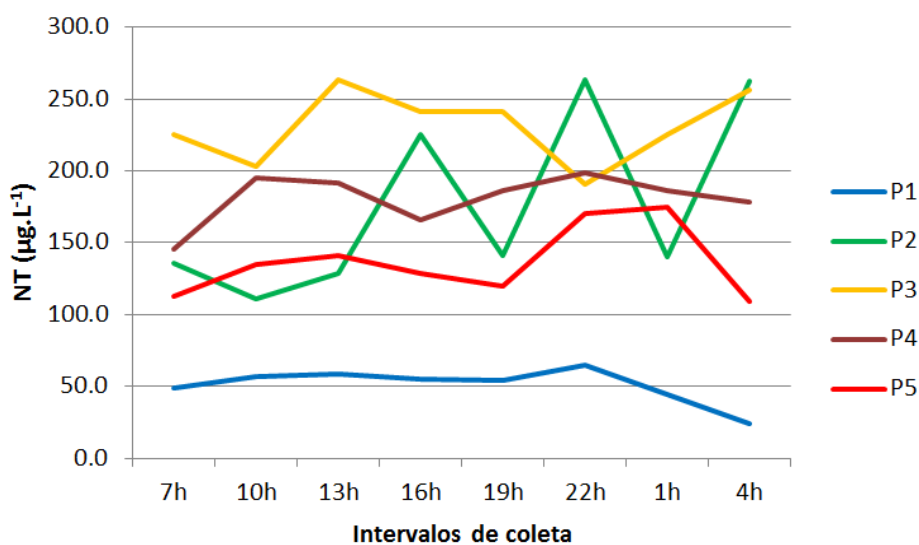


Figura 43. Variação do nitrogênio total ao longo da Salina Miramar nos diferentes intervalos de coleta.

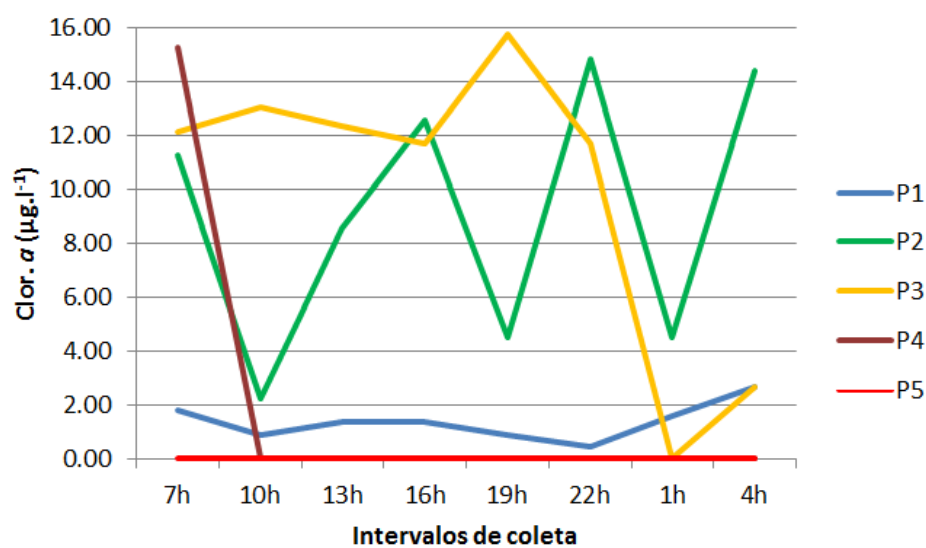


Figura 44. Variação da clorofila *a* ao longo da Salina Miramar nos diferentes intervalos de coleta.

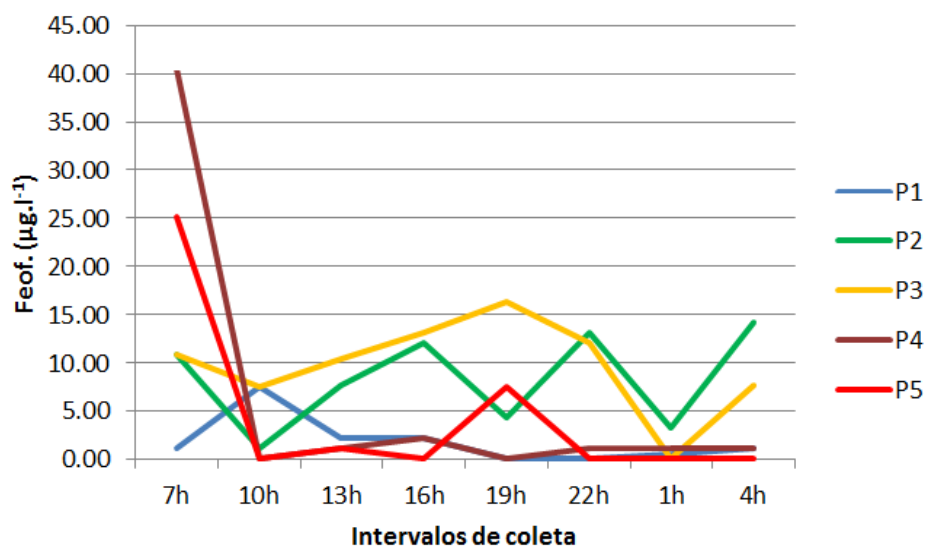


Figura 45. Variação da feofitina ao longo da Salina Miramar nos diferentes intervalos de coleta.

3.4.3 Discussão

De acordo com a gestão da salmoura, não se evidenciou uma variação nos valores de salinidade nos locais analisados, a qual manteve-se constante ao longo de todo o período amostral, sendo portanto um elemento independente e chave para análise dos demais parâmetros. As salmouras de todos os evaporadores analisados apresentam características maioritariamente alcalinas, porém apresentam uma grande variação tanto ao longo do ciclo de 24 horas como ao longo do gradiente de salinidade.

Embora o pH tenha apresentado variações, a redução dos valores deste parâmetro nas salinidades em torno de 50 e 100 g.L⁻¹ está relacionada com a precipitação fracionada dos sais da água do mar, proposto por Copeland (1967). Nesta análise, verifica-se a relação direta entre a elevação da saturação de sais na salmoura, onde os diferentes sais formados apresentam limites diferentes de dissolução no ambiente, vindo a precipitar-se quando atingem saturações máximas.

No caso específico, tem-se a precipitação dos carbonatos (CaCO₃), precipitando-se já em salinidades em torno de 50 a 80 g.L⁻¹ (setores onde os pontos n. 2 foram amostrados). Em seguida, este elemento passa a associar aos sulfatos (CaSO₄), vindo a precipitar-se gradativamente ao longo dos evaporadores da salina, até atingir seu máximo de precipitação entre 150 e 160 g.L⁻¹. Portanto, as oscilações nos valores do pH refletem as precipitações relacionadas com os íons de cálcio associados aos carbonatos e aos sulfatos.

Em termos de oxigenação dos ambientes analisados, onde os maiores teores deste parâmetro foram identificadas a 40 g.L⁻¹, com as concentrações mais elevadas entre as 10h, 13h e 16h e as menores durante a noite. No caso do oxigênio, a variação ao longo do ciclo de 24 horas nos evaporadores de salinidade 40g.L⁻¹ poderá ser explicado pela presença de macroalgas, que já não se encontram nos restantes evaporadores devido ao aumento da salinidade, e uma vez que os valores de clorofila *a* são comparativamente mais baixos no evaporador P1.

As concentrações de oxigênio dissolvido estão dentro dos valores apresentados por Modassir e Ansari (2011) para as variações anuais em salinas em Goa (Índia), assim como em salinas da Grécia (Evangelopoulos et al., 2008), Espanha (Pedros-Alió et al., 2000) e Estados Unidos (Takekawa et al., 2006). Nos quatro evaporadores dessa salina (em que as variações anuais de salinidade variaram entre 2 e 130 g.L⁻¹), os valores anuais de concentrações de oxigênio dissolvido variaram de 2,5 a 7,6 mgL⁻¹).

Com relação aos compostos nitrogenados, todos apresentaram uma variação entre os pontos analisados, assim como entre os diferentes períodos amostrais em cada ponto. A amônia foi a forma de nitrogênio mais disponível nos ambientes analisados, seguida do nitrato.

Como se pode observar na tabela 1, na página 08, a gama de variação das concentrações de amônia em diferentes sistemas é bastante variável. Na Salina Miramar, nos evaporadores P1, P2 e P3 com salinidades de 40, 70, 120 gL⁻¹ respectivamente, as concentrações de amônia registradas durante o dia variaram aproximadamente entre 300 e 400 µg.L⁻¹ (17,6 e 23,5 µM). Estas concentrações estão próximas dos valores máximos anuais registrados na salinas em Goa (Modassir e Ansari, 2011). Nos quarto evaporadores dessa salina em Goa (em que as variações anuais de salinidade nos evaporadores analisados variaram entre 2 e 130 gL⁻¹), os valores anuais de concentrações de amônia variaram entre 0,2-18,4 (µM).

Na Salina Miramar, nos evaporadores P4 e P5 com salinidades de 150 e 190 gL⁻¹, repectivamente, as concentrações registradas desse nutriente durante o dia foram comparativamente mais baixas e variaram aproximadamente entre 50 e 250 µg.L⁻¹ (2,9 e 14,7 µM). Estes valores são semelhantes aos determinados nos tanques de evaporação, com salinidades compreendidas entre 40 e 250 gL⁻¹, das Salinas La Trinitat, Ebro Delta (Espanha) (3 -13 µM), mas inferiores aos determinados nos tanques de evaporação, também com salinidades compreendidas entre 40 e 250 gL⁻¹, das Salinas Bras del Port, Alicante (Espanha) (40-230 µM) (Pedrós-Alió et al., 2000) .

Em futuros estudos, seria interessante comparar a amplitude de variação anual com a amplitude de variação diária, em particular nas condições extremas, i.e., na estação úmida e na estação seca.

Como se pode observar na tabela 1, na página 08, a gama de variação das concentrações de nitrato em diferentes sistemas também é bastante variável. Considerando todos os evaporadores (salinidades entre 40 e 190 gL⁻¹) as concentrações de nitrato variaram entre 40 e 100 µgL⁻¹ (0,6 e 1,6 µM). Estas concentrações estão próximas dos valores inferiores anuais registados na salinas em Goa (Modassir e Ansari, 2011). Estes valores são ainda dentro da gama de concentrações determinadas nos tanques de evaporação, com salinidades compreendidas entre 40 e 250 gL⁻¹, das Salinas La Trinitat, Ebro Delta (Espanha) (0 - 3 µM), das Salinas Bras del Port, Alicante (Espanha) (0 - 4 µM) (Pedrós-Alió et al., 2000).

Por sua vez, aos teores de fósforo disponível no ambiente, tanto o fósforo total quanto o ortofosfato também apresentaram uma variação entre os pontos amostrais, assim como entre os diferentes períodos de amostragem. O ortofosfato não apresentou nenhum padrão definido, variando entre 0,05 e 0,16 (µM) semelhante aos valores descrito para as Salinas Salinas Dampier W. Austrália (tabela 1), valores estes que são próximos do limite inferior apresentado por Modassir and Ansari (2011).

Elevados níveis de nutrientes ao longo dos circuitos de produção de sal são reportados por outras salinas (e.g. Abid et al., 2008; Segal et al., 2009; López et al., 2010), onde a supersaturação foi comum em muitos evaporadores onde a produção primária rapidamente anulou a solubilidade do oxigênio em determinada temperatura e salinidade (Pedros-Alió et al., 2000).

Nestas salinas e conforme evidenciado no presente capítulo, os valores de clorofila *a* e de feofitina variaram bastante ao longo da salina, não sendo identificado um padrão de produção ou atividade fitoplanctônica em salinidades acima de 150gL⁻¹. Os valores da Clorofila *a* foram semelhantes aos identificados em salinas dos Estados Unidos (Takekawa et al., 2006) e Espanha (Pedros-Alió et

al., 2000), variando entre $2,0 - 10 \mu\text{g.L}^{-1}$, porém estando abaixo dos valores registrados por Abid et al. (2008) em uma salina na Tunísia.

3.4.4 Conclusão

O primeiro evaporador caracterizou-se por uma menor concentração de nutrientes na coluna d'água, e uma maior variação diária dos valores de oxigênio. Este ambiente pode ser explicado pela presença de macroalgas e pela água marinha, menos rica em nutrientes.

Os evaporadores com salinidades compreendidas entre os 70 e os 120 g.L^{-1} , caracterizaram-se por uma maior concentração de fitopigmentos e de nutrientes. Acima de 150 g.L^{-1} , o ambiente passa a ser anóxico e a concentração de nutrientes volta a baixar.

Seria importante comparar esta variação diária com a variação sazonal dos parâmetros físico-químicos e dos nutrientes. Portanto, é relevante a realização de estudos futuros para melhor compreender os processos biogeoquímicos com a dinâmica de nutrientes ao do ciclo de produção de sal.

CAPITULO 4 – SERVIÇOS AMBIENTAIS E POTENCIALIDADES DAS SALINAS SOLARES TROPICAIS

CAPITULO 4 – SERVIÇOS AMBIENTAIS E POTENCIALIDADES DAS SALINAS SOLARES TROPICAIS

4.1 - Serviços ambientais prestados por salinas solares e sua importância para a conservação destes ecossistemas

As salinas têm sido utilizadas pelo homem há milênios, onde as primeiras referências sobre a extração de sal a partir da água do mar foram da China, durante a dinastia do Imperador Huang, há 2.500 a.C. O procedimento usado era o mesmo utilizado nas salinas tradicionais de algumas partes da África, América do Sul e Oceania, consistindo em represar a água do mar em diques de argila e aguardar a precipitação de sal, com uma predominância de NaCl e alto conteúdo de sais de cálcio, magnésio, etc. (Baas-Becking, 1931). Estes ambientes constituem ecossistemas artificiais de supramaré explorados para a extração de sal marinho, compostos por uma série de tanques rasos (20 – 200 cm) e interconectados, nos quais a água do mar/estuário é captada e transferida de um tanque para outro por gravidade ou por bombeamento. Ao longo desse circuito, esta água vai evaporando gradativamente, o que aumenta a saturação de sais até se atingir uma salmoura com saturação de 240 g.L⁻¹ de sais, já no estágio final de cristalização do cloreto de sódio (Pedrós-Alió et al., 2000).

As salinas solares têm sido estudadas extensivamente ao longo do globo a nível de dinâmica dos processos ecológicos e características hidrogeoquímicas, principalmente na Estados Unidos, Austrália, Itália, China, Tunísia, Grécia, Espanha, Israel, México e Índia (Takekawa et al., 2006; Coleman, 2009; Giordano e Beardall, 2009; Huai-ke e Guan-qiang, 2009; Khemakhem et al., 2010; Korovessis e Lekkas, 2009; López et al., 2010; Oren et al., 2009; Ortiz-Milan e Davis, 2009; Rahaman et al., 2009).

Embora diversas dessas pesquisas venham cada vez mais balizando as salinas solares como ecossistemas de relevante interesse biológico e ecológico, especialmente com ênfase aos seres vivos extremófilos (Oren, 2002), evidenciou-

se a necessidade em se descrever mais a fundo as intrínsecas interrelações observadas nas salinas solares, do ponto de vista ecológico e econômico. Esse ecossistema assume uma particularidade ímpar por conseguir atingir o “raro fenômeno” da integração entre a exploração sustentável de um sistema biológico, sem nenhuma perda para este sistema. Embora por um lado as salinas sejam conceituadas como um ecossistema hipersalino, por outro lado é exatamente o complexo mosaico constituído pelos diferentes habitats (evaporadores, concentradores e cristalizadores), que viabilizam uma importante atividade econômica (a produção de sal), a qual interfere minimamente em sua biodiversidade.

Com relação ao sistema econômico, quando se analisa a produção de sal marinho em salinas solares do ponto de vista da sustentabilidade ambiental, conclui-se que dentre as muitas atividades humanas (principalmente às de exploração mineral), esta é uma das que mais consegue assumir um caráter de sustentabilidade na produção. Esta característica se deve ao fato de que a produção de sal utiliza tanto uma matéria prima 100% renovável (água do mar ou dos estuários), assim como também utiliza unicamente a energia solar (também 100% renovável) para promover a evaporação da água e, conseqüentemente, a formação dos cristais de halita (NaCl). Esta sustentabilidade ainda é balizada no fato de os gestores das salinas utilizarem unicamente “sistemas biológicos” para auxiliar no processo produtivo.

Com vistas em suprir a necessidade de se obter sistemas indicadores de sustentabilidade, muitos métodos de análise estão sendo cada vez mais propostos para se avaliar a sustentabilidade ambiental em diversos eixos da Economia, buscando-se integrá-la com a Ecologia (Moberg e Rönnbäck, 2003). Estes métodos de avaliação buscam sempre levar em consideração uma abordagem em fatores socioeconômicos e fatores ambientais/ecológicos (Diamond, 2005; Montgomery, 2007).

Nesta pesquisa, buscou-se avaliar a importância ecológica das salinas solares através da análise integrada dos serviços ambientais prestados por esses

ecossistemas. Para esta análise, o sistema DPSIR - Driver/Pressure/State/Impact/Response (European Environmental Agency, 1999; Blum 2001, 2002; Kristensen, 2004) foi empregado buscando-se identificar os indicadores centrais e estabelecer a natureza das interações entre as diferentes *driving forces*, pressões, estados, impactos e respostas do ecossistema frente às interferências humanas identificadas.

De acordo com o quadro DPSIR, há uma cadeia de relações causais que começam com “*Drivers*/forças condutoras” (setores econômicos, atividades humanas), através de “pressões” (emissões, resíduos) para “estados” (físicos, químicos e biológicos) e os “impactos” sobre os ecossistemas, a saúde humana e funções, acabou levando a políticas “respostas” (priorização, definição de metas, indicadores) (Atkins et al., 2012).

4.1.1 Metodologia

Esta pesquisa foi desenvolvida em 03 fases. Na primeira, foram identificados os principais serviços ecossistêmicos gerados pelas salinas solares, buscando-se aprimorar uma fiel descrição de cada um. Durante a segunda fase, foram selecionados os mais relevantes problemas evidenciados nas salinas e gerados através da interferência humana no seu funcionamento. Para estas duas primeiras etapas, foi realizada uma extensa revisão bibliográfica sobre várias regiões salineiras ao longo do planeta: 1) Norte da África – Tunísia (Abid et al., 2008; Khemakhem et al., 2010) e Egito (Dardir e Wali, 2009), 2) Itália (Giordano e Beardall, 2009; Zeno, 2009), 3) Espanha (Pedrós-Alió et al., 2000; Joint et al., 2002; López et al., 2010), 4) Grécia (Korovessis e Lekkas, 2006; Crisman et al., 2009), 5) Israel (Oren et al., 2009; Oren, 2009), 6) Índia (Furtado e Fernandes, 2009; Rahaman et al., 2009), 7) China (Davis, 1990; Huai-ke e Guan-qiang, 2009), 8) Austrália (Coleman e White, 1993; Coleman, 2009), 9) Estados Unidos (Javor, 1989; Davis, 2000, 2009; Takekawa et al., 2006), 10) México (Ortiz-

Milan, 2009; Ortiz-Milan e Davis, 2009) e Brasil (De Medeiros Rocha e Camara, 1993; De Medeiros Rocha et al., 2009; Costa et al., 2010; De Medeiros Rocha et al., 2012).

Por fim, os dados foram analisados através do sistema DPSIR – Driver – Pressão – Estado – Impacto – Resposta (European Environmental Agency, 1999; Blum 2001, 2002; Kristensen, 2004, 2011), buscando-se identificar uma série de indicadores centrais e estabelecer a natureza das interações entre as diferentes força condutora, pressões, estados, impactos e respostas do ecossistema de uma salinas frente às diversas interferências humanas identificadas neste trabalho.

4.1.2 Serviços ambientais prestados pelas salinas solares

Analisando-se do ponto de vista integrado, verificou-se que as salinas, assim como todos os ecossistemas, proporcionam uma série de serviços ecossistêmicos, sendo alguns deles tangíveis e ou intangíveis, diretos ou indiretos conforme os descritos por MEA – Milenium Ecosystem Assessment (**Fig. 43**). Avaliando-se estes serviços de uma maneira integrada, tem-se que as salinas solares se apresentam como um sistema forçado (Margalef, 1973), cujo manejo proporciona os serviços acima listados. Todavia, é exatamente este manejo que pode ser um fator chave para a gestão desse ecossistema, equilibrando interesses humanos (maior produção de sal) com a necessidade de conservar o ecossistema e assegurar seu equilíbrio (**Fig. 44**). Conforme será mostrado adiante, a própria anciedade humana em produzir mais será um fator crítico de desestabilização do sistema, vindo inclusive e principalmente a prejudicar as salinas.

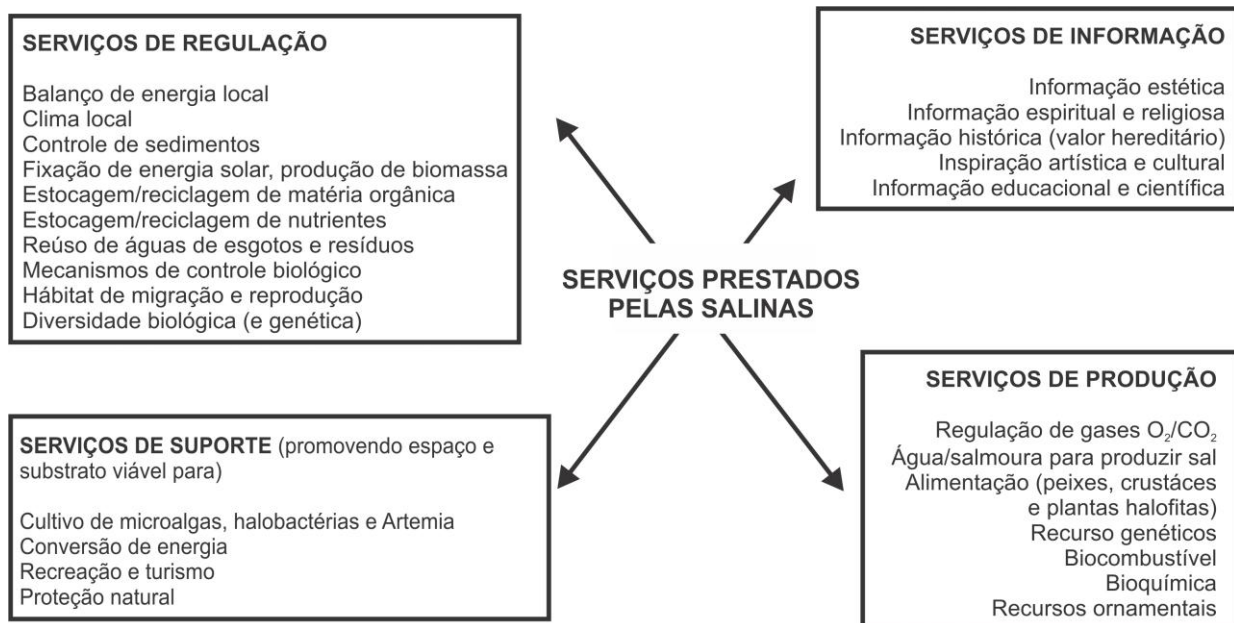


Figura 46 – Serviços ecossistêmicos prestados pelas salinas solares (adaptado de Gilbert e Jansen, 1998; De Groot et al., 2002).

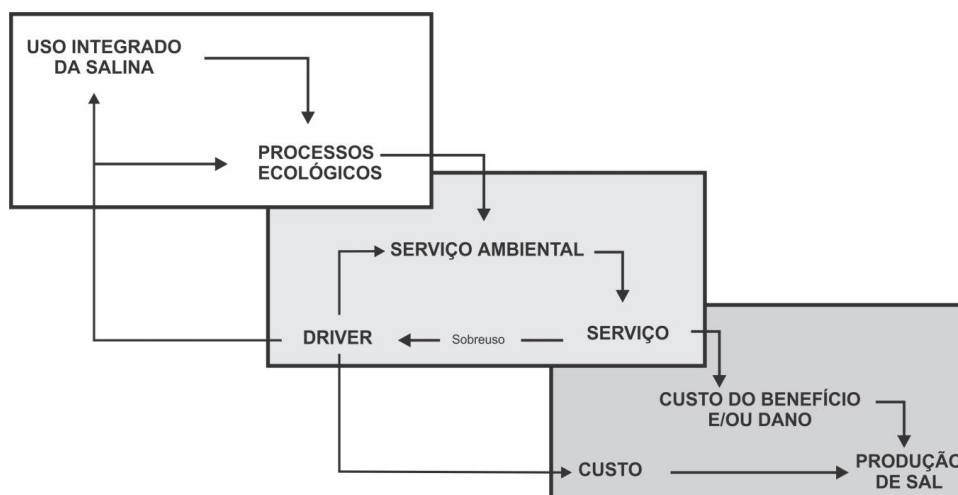


Figura 47 – Estrutura de uso integrado da salina, relacionado os serviços ambientais prestados por esse ecossistema e a influência da intervenção humana (*Driver*) no mesmo (adaptado de Gilbert e Jansen, 1998).

- *Provisão de estoque pesqueiro que sustenta diversas famílias através da pesca artesanal (Biodiversidade 1)*

O tema biodiversidade foi subdividido entre vários serviços ambientais pretados pelas salinas. Por captarem águas estuarinas ou diretamente no mar, a biodiversidade dos evaporadores iniciais das salinas é composta majoritariamente por espécies típicas destes ambientes. No caso específico do estoque pesqueiro, este é composto principalmente por peixes (e.g. *Anchovia* sp., *Elops saurus* Linnaeus, *Tachysurus* sp.), caranguejos (e.g. *Goniopsis cruentata* Latreille, *Callinectes exasperatus* Gerstaecke, *Ucides cordatus* Linnaeus) e camarões (e.g. *Penaeus aztecus subtilis* Perez-Farfant, *P. brasiliensis* Latreille), os quais são capturados durante a fase de larvas ou juvenis pelas fortes bombas de captação (Fausto Filho, 1984). Em virtude da extensa área inundada por esses evaporadores iniciais, do longo período em que grande parte destes ecossistemas já foram construídos (algumas com mais de 50 anos!), como também em função da constante salinidade, é evidente que estes ambientes podem ser considerados como habitats estáveis para o desenvolvimento de populações de peixes e crustáceos.

Esta biota é explorada através da pesca artesanal em todas as salinas, representando em muitos casos a única fonte de renda para muitas famílias. Além deste aspecto financeiro, o pescado também representa uma importante fonte de proteína animal para as famílias mais carenciadas.

- *Único uso possível para uma água eutrofizada sem necessitar de nenhum tratamento ou adicionamento de complemento químico*

Conforme já evidenciado por diversos autores, existe uma tendência global para o aumento do nível trófico das zonas estuarinas (e.g. Lillebø et al.,

2007; Ramos e Silva, 2006; Lopes et al., 2007; Silva et al. 2009), as quais naturalmente já se caracterizam pela elevada produtividade. Considerando a multiplicidade dos diversos usos, é evidente que estas águas estuarinas ainda poderiam ser utilizadas para algumas atividades humanas, necessitando porém de alguma intervenção humana (tratamento), sendo a aquacultura um dos usos mais referenciados. Porém, considerando-se a perspectiva da sustentabilidade ambiental, as salinas solares configuram-se como o único possível uso dessas águas estrofinzadas para uma atividade econômica que não venha a trazer danos ao ambiente. Portanto, este se configura como um dos principais serviços prestados por esses ecossistemas, no sentido de que utilizam uma água rica em nutrientes que seria exportada para a zona costeira, sem necessitar de nenhum custo adicional de tratamento, além de não implicar em nenhum *output* para o ambiente.

- *Habitat estável para a biota estuarina (Biodiversidade 2)*

Outro serviço associado à manutenção da biodiversidade é a disponibilização de habitat alternativo para a biota estuarina. Em um cenário de intensa e constante alteração da zona costeira, verifica-se que os ecossistemas aquáticos litorâneos representam em muitos casos “elos” mais frágeis em resposta as mudanças que aí ocorrem. Esse fato é exacerbadamente marcado quando se considera a biodiversidade, principalmente zonas estuarinas. Nesse sentido, principalmente a eutrofização é um dos maiores responsáveis pela redução da biodiversidade, comprometendo o equilíbrio ecológico de toda a teia alimentar. Quanto a esse aspecto, as salinas assumem um relevante papel como habitat de refúgio e até mesmo como zonas exclusivas de pousio e alimentação (Masero, 2003; Takekawa et al., 2006; Lopez et al., 2010).

- *Retenção de nutrientes impedindo a exportação de parte destes para a zona costeira*

Conforme já comentado no item 3.1.2 sobre a utilização das águas estuarinas eutrofizadas para a produção de sal, ainda é possível identificar um outro serviço associado que diz respeito exatamente a retenção desses nutrientes no circuito das salinas (Coleman, 2009; Oren, 2009). Em uma breve análise sistêmica, pode-se verificar que as salinas se comportam como ambientes de acumulação de nutrientes que se encontram em forma dissolvida ou particulada nas águas do estuário. Este serviço deve ser considerado como de extrema importância em função de crescente preocupação com a eutrofização da zona costeira, seguida de todos os efeitos danosos que este processo pode acarretar. Assim, ao funcionarem ao longo de todo o ano captando água eutrofizada dos estuários, as salinas representam zonas de acumulação de nutrientes, impedindo que parte destes venha de fato a contribuir com o processo de eutrofização da zona costeira.

- *Potencial para o cultivo associado de microalgas e Artemia*

Com o desenvolvimento da aquicultura de peixes e crustáceos, o uso do microcrustáceo *Artemia* (Branchiopoda, Anostraca) na dieta durante o estágio larval de muitas destas espécies cultiváveis tornou-se largamente utilizado em função das facilidades de obtenção e alto valor nutricional (Zmora et al., 2002). Os cistos de *Artemia* em estágio de dormência são disponíveis durante todo o ano em grandes quantidades ao longo das margens dos lagos hipersalinos e salinas solares nos cinco continentes (Van Stappen, 2002). Depois de coletados e processados, estes cistos podem ser estocados de acordo com a demanda deste setor de alimentos. Todavia, a expansão da aquicultura vem elevando a demanda por cistos, excendo o suprimento do mercado, acarretando na elevação dos preços

e transformando a *Artemia* em uma espécie de gargalo para o desenvolvimento da aquacultura global. Em casos particulares, muitos países desenvolvidos estão importando elevadas quantidades de cistos (Gouveia et al., 2009).

Nesse sentido, as salinas assumem um papel relevante na estratégia de produção, uma vez que, por tratar-se de um ser vivo típico da biota desses ecossistemas, o uso dos tanques evaporadores (uma fonte de energia verde e renovável) economizaria bastante energia, tempo e espaço ao invés de se construírem tanques específicos para o cultivo e produção de cistos de *Artemia*.

Outra vertente da aquacultura potencialmente explorável nas salinas se trata do cultivo de microalgas halofílicas e das halobactérias. Estas espécies florescem livremente nas salinas, sendo um fonte valiosa para a exploração de determinados compostos químicos. O produto mais importante obtido destas espécies é o β -caroteno, porém outros usos tem sido explorados, incluindo a produção de glicerol e a produção de biodiesel a partir da biomassa (Oren, 2002).

Por outro lado, o efeito positivo da presença de densas comunidades de espécies de halobactérias do gênero *Archaea* nos tanques cristalizadores das salinas já tem sido reconhecido ao longo de muitos anos (Baas-Becking, 1931; Davis, 1973). A coloração avermelhada em muitos cristalizadores se deve exatamente ao desenvolvimento destas comunidades, associadas com cepas de *Dunaliella*, coloração esta que contribui para uma maior absorção de luz solar. Devido a esta maior absorção da energia solar por estes organismos, tem-se o aumento da temperatura da salmoura e, por consequência, um aumento da taxa de evaporação, aumentando a produção de sal (Javor, 1989; Davis, 2000).

- *Zonas de refúgio para aves aquáticas migratórias (Biodiversidade 3)*

Novamente no tema da biodiversidade, as salinas também representam zonas de refúgio para muitas espécies migratórias. Em um cenário de intensa ocupação da zona costeira, as salinas solares enquanto grandes ecossistemas aquáticos representam importantes zonas de refúgio para espécies de aves

aquáticas migratórias, além de serem habitat para muitas espécies endêmicas destas ecossistemas hipersalinos (Lopez 2010). Ao longo do planeta, várias aves aquáticas utilizam as salinas como locais para alimentação, refúgio e reprodução. Esta guilda de espécies é uma dos pontos mais frequentemente considerados para assegurar a conservação e a valoração natural das salinas como zonas úmidas (Perez-Hurtado et al., 1993; Masero, 2003; López et al., 2010).

- *Transformação de planície hipersalina em um rico e produtivo ecossistema*

Um dos principais serviços ambientais prestados pela construção das salinas solares diz respeito a conversão das planícies de supramaré hipersalinas em ecossistemas aquáticos produtivos. Essa abordagem encontra-se balizada na perspectiva de que, em um a partir da ampla ocupação humana na zona costeira, a conversão de zonas inólicas em ecossistemas constitui-se em um alternativa para a conservação da biodiversidade, uma vez que a construção das salinas não implica em nenhuma alteração geotécnica ou geomorfológica no terreno, tão pouco de correção química do solo.

- *Microalgas e Artemia (biota halotolerante) atuando como filtro biológico da salmoura/purificação da salmoura e interações tróficas na salina*

Um dos elementos mais complexos para se avaliar dentro da complexidade do ecossistema da salina se trata dos impactos positivos e negativos produzidos pela biodiversidade encontrada no setor intermediário. Por um lado, as populações bentônicas de cianobactérias (mats) que se desenvolvem nesse setor das salinas efetivamente contribuem com a impermeabilização dos tanques, impedindo das perdas de salmoura por infiltração. Este serviço deve ser avaliado por duas

vertentes: 1) a salina enquanto atividade econômica não tem perdas de sua matéria prima, acarretando na constante necessidade de alimentação dos evaporadores (Oren, 2009); 2) este impedimento também propicia a redução de um potencial dano ambiental que poderia ser gerado através da salinização do lençol freático.

Por outro lado, em um cenário de distúrbio do ecossistema, as cianobactérias que habitam o substrato e a interface substrato-coluna d'água, podem produzir massissas quantidades de muco polissacarídeo que aumenta a viscosidade da salmoura, dificultando o processo de evaporação (De Medeiros Rocha e Camara, 1993; Davis e Giordano, 1996; Oren, 2009).

O fato da *Artemia* ser encontrada no setor intermediário diz respeito a um dos principais serviços deste ecossistema, voltado exclusivamente para a atividade salineira. Este microcrustáceo atua realmente como uma espécie de filtro biológico da salmoura, uma vez que apresenta uma alimentação não-seletiva, alimentando-se de partículas de até 50 micrometros de diâmetro e, metabolizando grandes quantidades de matéria orgânica para dióxido de carbono. A *Artemia* ainda atua diretamente da interação trófica ao longo da salina, onde seus restos mortais e suas fezes são incorporadas ao substrato bentônico, servindo de alimento altamente protéico para as populações de halobactérias dos cristalizadores (De Medeiros Rocha e Câmara, 1993).

Em uma perspectiva ecossistêmica, diversas pesquisas demonstram a estratificação da biodiversidade ao longo do circuito das salinas, onde a biomassa morta dos tanques é transferida para os demais. Nesse sentido, considerando-se que essa biodiversidade é constituída por halobactérias e microalgas halofílicas, verifica-se que esta sequência de transferência de salmoura também assegura a sobrevivência desses seres através do *input* com a matéria orgânica. Esse processo se torna ainda mais imprescindível a partir do setor intermediário até mesmo os tanques de cristalização. A ocorrência de densas populações de *Artemia* sp. nos setores anteriores assegura esse *input* considerável de matéria orgânica para o setor dos concentradores e cristalizadores, cuja biomassa bacteriana halofílica depende substancialmente para o seu desenvolvimento (Oren, 2009).

- *A biota halofílica atua aumentando a temperatura da salmoura (warm zone), além de servir de ponto de apoio para a perfeita formação dos cristais de cloreto de sódio, assim como também remove as partículas dissolvidas na salmoura*

A coloração avermelhada se dá em função de uma membrana púrpura que ocorre em distintos pedaços de treliças hexagonais dentro da membrana plasmática. Nesta membrana existe uma proteína (bacteriorodopsina) que compreende 75% da membrana. Esta coloração nada mais é do que uma proteção da bactéria contra o excesso de radiação solar. Propicia uma maior absorção de energia da salmoura, elevando a temperatura.

- *Produção mineral (sal marinho)*

O principal serviço ambiental prestado por esse ecossistema é a produção de sal sem custos adicionais de produção e de maneira totalmente sustentável através de energias limpas e renováveis (água do mar, luz solar e vento).

4.1.3. Estratégia DPSIR aplicada à análise da gestão das salinas solares

Portanto, a partir dos serviços ecossistêmicos listados na **Fig. 46** e com base na análise do uso integrado das salinas, foram selecionados os principais serviços associados diretamente, sendo estes os mais citados na literatura científica corrente (Davis, 2000, 2009; Masero, 2003; Korovessis e Lekkas, 2009;

De Medeiros Rocha et al., 2012). A partir destes serviços, as salinas solares foram avaliadas a partir da estratégia DPSIR (**Quadro 1** e **Fig. 48**), cuja análise segue descrita abaixo.

Quando analisada sob a ótica do DPSIR, a estrutura dos serviços ambientais identificados acima pode ser seriamente comprometida em função de diversos fatores que podem interferir (*Drivers - D*) na prestação destes serviços, assim como no funcionamento do ecossistema da salina como um todo.

Nessa perspectiva, entende-se como primeiro fator de interferência a pesca excessiva (**D1**) nos primeiros evaporadores. Conforme já comentado, estes lagos artificiais representam ecossistemas marinhos cuja salinidade, geoquímica e biodiversidade é semelhante a da encontrada no local onde é feita a captação (estuário, laguna ou oceano). Assim, essa biodiversidade propicia a existência de um estoque pesqueiro considerável no setor se evaporação inicial (salinidades entre 35 e 70), atraindo muitos pescadores artesanais para as salinas.

Entre os fatores que influenciam a estabilidade do ecossistema da salina, a eutrofização (**D2**) é um processo comum entre este e os demais ecossistemas aquáticos do planeta. Este processo acarreta em uma total reestruturação da biota em função do maior aporte de nutrientes ou, no caso das salinas, da captação de água já com elevado nível trófico. A preocupação com o processo nas salinas se dá em função dos diversos usos da bacia, onde várias pesquisas científicas que atestam a forte influência da biota na produção de sal, podendo vir inclusive a inviabilizar essa produção (De Medeiros Rocha e Camara, 1993; Davis, 2000; Oren, 2009).

Quadro 1 – Tabela com a descrição dos principais serviços ecossistêmicos gerados pelas salinas solares e analisados através da estratégia do DPSIR.

1. SERVIÇOS AMBIENTAIS PRESTADOS PELAS SALINAS (S)
<p>S1 - Provisão de estoque pesqueiro que sustenta diversas famílias através da pesca artesanal.</p> <p>S2 - Único uso possível para uma água eutrofizada sem necessitar de nenhum tratamento ou adicionamento de complemento químico</p> <p>S3 - Habitat estável para a biota estuarina.</p> <p>S4 - Retenção de nutrientes impedindo a exportação de parte destes para a zona costeira.</p> <p>S5 - Potencial para o cultivo associado de microalgas e Artemia.</p> <p>S6 - Zonas de refúgio para aves aquáticas migratórias.</p> <p>S7 - Transformação de planície hipersalina em um rico e produtivo ecossistema.</p> <p>S8 - Microalgas e Artemia (biota halotolerante) atuando como filtro biológico da salmoura/purificação da salmoura e interações tróficas na salina.</p> <p>S9 - A biota halofílica atua aumentando a temperatura da salmoura (warm zone), além de servir de ponto de apoio para a perfeita formação dos cristais de cloreto de sódio, assim como também remove as partículas dissolvidas na salmoura.</p> <p>S10 - Produção mineral (sal marinho) através de uma produção sustentável, energias limpas e renováveis (água do mar, luz solar e vento)</p>
2. DRIVERS (a intervenção humana/gestão inapropriada nas salinas, as quais desencadeiam em uma série de pressões sobre o ecossistema, causando alterações negativas no estágio ecológico e no funcionamento das salinas, cujos impactos se refletem diretamente no ecossistema e na produção de sal) (R)
<p>D1 - Pesca excessiva</p> <p>D2 - Eutrofização</p> <p>D3 - Manejo intensivo de salmouras</p> <p>D4 - Pesca excessiva de Artemia</p>
3. PRESSÃO (os Drivers gerados através da intervenção humana irão gerar várias pressões no funcionamento e estabilidade da salina) (R)
<p>P1: Redução do estoque pesqueiro</p> <p>P2: Comprometimento do fluxo de matéria e energia</p> <p>P3: Redução da biodiversidade bentônica</p> <p>P4: Redução da biodiversidade</p> <p>P5: Comprometimento do processo de produção de sal</p>
4. ESTADO (cada pressão irá determinar uma alteração no estado da salina) (E)
<p>E1: Redução da biodiversidade</p> <p>E2: Comprometimento da renda dos pescadores tradicionais</p> <p>E3: Comprometimento da estabilidade ecológica da salina</p> <p>E4: Redução da biodiversidade</p> <p>E5: Desequilíbrio ecológico no setor intermediário</p> <p>E6: Comprometimento do processo de produção de sal</p> <p>E7: Redução da biodiversidade</p> <p>E8: Comprometimento do efeito impermeabilizante</p> <p>E9: Comprometimento do filtro biológico contra impurezas no processo produtivo</p> <p>E10: Redução da qualidade do cristal de halita</p> <p>E11: Funcionamento da salina sob risco de redução da produtividade de sal</p> <p>E12: Redução da qualidade do cristal de halita</p> <p>E13: Funcionamento da salina sob risco de redução da produtividade de sal</p>
5. IMPACTO (os novos estados irão gerar impactos sobre os serviços prestados pelas salinas, a nível de comprometimento ou até mesmo a suspensão do serviço) (I)
<p>I1: S1 - Comprometido e potencialmente suspenso / S3 - Comprometido / S5 - Comprometido / S6 - Comprometido / S8 - Comprometido / S9 - Comprometido</p> <p>I2: S5 - Comprometido e potencialmente suspenso / S8:S9:S10 - Comprometido e potencialmente suspenso</p> <p>I3: Perda de salmoura por infiltração (compromete a gestão precisa) e potencial salinização do lençol freático</p> <p>I4: S10 - Comprometido</p> <p>I5: S10 - Comprometido</p>
6. RESPOSTA (R)
<p>R1 - Salina funcionando porém sem sustentar a pesca artesanal / R2 - Pobre em biodiversidade no setor inicial</p> <p>R3 - Potencialmente inviável para o cultivo associado de microalgas e Artemia / R4 - Redução de habitats para espécies migratórias /</p> <p>R5 - Comprometimento da produção de sal sem influência das comunidades biológicas</p>

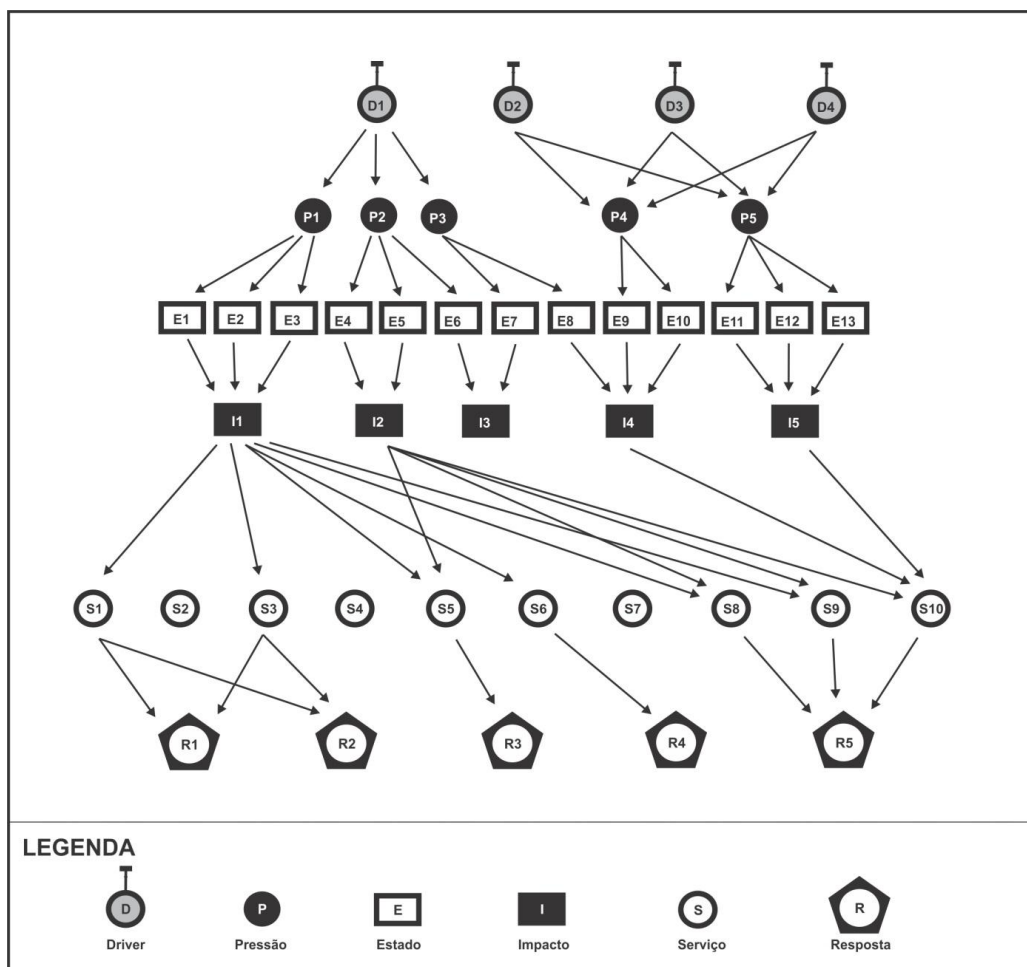


Figura 48 – Estratégia DPSIR aplicada à análise das actividades humanas nas salinas solares.

Todavia, tanto a mistura de salmouras com diferentes salinidades quanto a Redução do nível da água para acelerar a evaporação podem acarretar um desenvolvimento acelerado da biota bentônica em função da maior entrada de luz na coluna d'água. A proliferação excessiva de certas microalgas bentônicas ocasiona a formação de uma mucilagem na superfície da água, limitando e por vezes até impedindo a penetração da luz. Mesmo quando esse processo não ocorre no evaporador onde ocorreu a redução do volume, ele é passível de ocorrer nos evaporadores que receberem a salmoura concentrada através deste processo, uma

vez que as concentrações dos nutrientes seguirão muito elevadas em relação aos tanques receptores, servindo também como fator responsável pelo desenvolvimento da eutrofização. Uma prática preocupante em muitas salinas é a pesca excessiva de *Artemia* sp. (D4) para a venda. Em muitos países (e.g. Brasil, China, Índia e México), esta coleta é feita por pescadores artesanais, que em parte dependem dessa venda para a manutenção da renda mensal e manutenção de suas famílias. Todavia, esta prática deve ser orientada por algum profissional que esteja consciente da capacidade de suporte e do estoque populacional encontrado na salina (e.g. biólogo ou engenheiro de pesca), uma vez que tanto a pesca excessiva quanto a elevada quantidade de pessoas dentro dos evaporadores das salinas podem desestabilizar completamente o equilíbrio deste complexo ecossistema.

Em termos de pressão, essa pesca excessiva é preocupante em dois eixos, tanto em termos de retirada/exploração desse recurso biológico quanto em função da elevada quantidade de pessoas dentro dos evaporadores das salinas. O primeiro eixo diz respeito à necessidade de manutenção constante de um estoque populacional de *Artemia* em vários evaporadores da salina, principalmente no setor intermediário (salinidades entre 160 e 200) (Davis, 2000). Conforme já demonstrado por diversos autores, esta espécie representa de fato um verdadeiro filtro biológico de impurezas, possibilitando que as salmouras sejam cada vez mais adequadas para a produção do sal. Essa ação é desempenhada por essa espécie em função de ser o único zooplâncton que consegue habitar em ecossistemas aquáticos hipersalinos (salinidade acima de 35) (Van Stappen, 2002).

Portanto, essa atuação da *Artemia* na salina se deve à sua morfologia, cuja alimentação é de caráter filtrador não-seletivo. Nesse sentido, ela atua tanto absorvendo alguma partícula que por ventura ainda permaneça no sistema após passar pelos evaporadores (De Medeiros Rocha e Camara, 1993). A *Artemia* também controla principalmente a quantidade de matéria orgânica e a densidade fitoplânctônica no setor onde é encontrada. O controle da densidade fitoplânctônica é de fundamental importância em virtude do crescente e permanente risco da eutrofização dentro da salina, cujos riscos e prejuízos já foram comentados

anteriormente. Nesse sentido, a atuação do filtro biológico é importantíssima, onde dependendo da área de cada evaporador, a literatura propõe a necessidade da manutenção de densidade populacionais de *Artemia* na ordem de 100 a 200 ind.L⁻¹. (De Medeiros Rocha e Camara, 1993; Tachkaert et al., 2006; Oren, 2009)

Esse controle biológico é de suma importância também após o setor onde a *Artemia* é encontrada, pois a salmoura segue para o setor final de produção de sal (tanques concentradores e cristalizadores – salinidade entre 200 e 280). Nestes ambientes rigidamente hipersalinos encontram-se as microalgas e halobactérias extremamente halofílicas, as quais são mantidas em densidades ideais unicamente em função do filtro biológico, o qual reduz a quantidade de matéria orgânica que segue disponível para este setor. Portanto, em um cenário de comprometimento das funções de atuação da população de *Artemia* na salina, tem-se como consequência uma série de ações danosas tanto na perspectiva de equilíbrio da estabilidade do ecossistema, como também do bom funcionamento do sistema produtivo do sal, afetando portanto as esferas ecológica e econômica que fazem das salinas um dos únicos ecossistemas capazes de integrá-las de maneira sustentável.

Por fim mas não menos importante do que o comentado nos parágrafos anteriores, é fundamentalmente preocupante a presença excessiva de pescadores dentro dos evaporadores uma vez que estes ecossistemas apresentam características intrinsecamente relacionada com a estabilidade das comunidades bentônicas. Nesse sentido, ao se deslocarem dentro da salina, os pescadores promovem a suspensão dos sedimentos ricos em nutrientes, os quais agora irão novamente integrar o problema do risco de eutrofização.

Os Drivers gerados através da intervenção humana irão gerar várias pressões no funcionamento e estabilidade da salina. A exploração do estoque pesqueiro (**D1**) causa de imediato uma redução desse estoque (**P1**), compromete o fluxo de matéria e energia (**P2**), além de uma redução da biodiversidade bentônica (**P3**) através do pisoteio intenso na salina. Estas pressões comprometem todo o equilíbrio do complexo integrado que é o ecossistema da salina, uma vez que parte

da estrutura trófica dos habitats subsequentes nos evaporadores intermediários (salinidades entre 90 e 180) depende do aporte de matéria orgânica advinda do setor inicial da salina (Davis, 2000; Pedrós-Alió et al., 2000; Oren, 2009). Assim, com a redução da biodiversidade através da pesca tem-se o comprometimento do restante do ecossistema, cujo funcionamento equilibrado do sistema biológico tem uma influência direta no processo de produção de sal (Davis, 2009).

Tanto a eutrofização (**D2**), o manejo intensivo de salmouras (**D3**) e a pesca excessiva de *Artemia* (**D4**) geram de imediato a redução da biodiversidade (**P4**) e o comprometimento do processo de produção de sal (**P5**). Aprofundando a análise das actividades humanas na salina, cada pressão irá determinar uma alteração no estado desse complexo ecossistema. As primeiras alterações percebidas se tratam da redução da biodiversidade (**E1**), comprometimento da renda dos pescadores tradicionais (**E2**) e o comprometimento da estabilidade ecológica da salina (**E3**) geradas pela redução do estoque pesqueiro (**P1**) através da sua sobre exploração (**D1**).

Essa redução da biodiversidade também é seriamente afetada no setor intermediário da salina (**E4**), associada ao desequilíbrio ecológico desse setor (**E5**) e ao próprio comprometimento do processo de produção de sal (**E6**). Essas alterações são gerados pela alteração do fluxo de matéria e energia (**P2**), também derivada pela pesca excessiva no setor inicial da salina (**D1**). Outro reflexo desse fator (**D1**) é a redução da biodiversidade bentônica (**P3**), a qual trás como alteração imediata uma redução da biodiversidade (**E7**) e o comprometimento do efeito impermeabilizante (**E8**) gerado por esta biota.

Por sua vez, a redução da biodiversidade (**P4**) resultante do sinergismo entre os efeitos da eutrofização (**D2**), do manejo intensivo de salmouras (**D3**) e a pesca excessiva de *Artemia* (**D4**) traz uma sequencia de efeitos danosos a salina, principalmente do ponto de vista ecológico e econômico. O primeiro efeito se trata do comprometimento do filtro biológico contra impurezas no processo produtivo (**E9**), em conjunto com a redução da qualidade do cristal de halita (**E10**), com a salina funcionando sob risco de redução da produtividade de sal (**E11**), estando

estes dois últimos efeitos também associados diretamente ao comprometimento do processo de produção (**P5**).

Em suma, a interação entre os diferentes estados que podem ser assumidos pelas salinas resultou na sistematização de 05 impactos negativos sobre esse ecossistema, cujos reflexos se dão diretamente sobre os serviços ambientais por ele prestados, a nível de comprometimento ou até mesmo a suspensão do serviço. De imediato, o primeiro impacto se traduz no aspecto econômico do uso associado da salina (serviço ambiental) para a provisão de estoque pesqueiro, sustentando diversas famílias através da pesca artesanal (**S1**), o qual fica comprometido e potencialmente suspenso (**I1**).

Tal impacto é derivado da redução da biodiversidade (**E1**), comprometimento da renda dos pescadores tradicionais (**E2**) e o comprometimento da estabilidade ecológica da salina (**E3**) através da sua sobre exploração (**D1**) e consequente redução do estoque pesqueiro (**P1**). De maneira associada, esta sequência de pressões e estados geram outros impactos, como o comprometimento da prestação dos serviços de funcionamento como habitat estável para a biota estuarina (**S3**), potencialidade para o cultivo associado de microalgas e Artemia (**S5**), funcionamento como zonas de refúgio para aves aquáticas migratórias (**S6**), filtro biológico da salmoura/purificação da salmoura realizado pelas microalgas e Artemia (biota halotolerante) (**S8**) e o melhoramento biológico da produção de sal através da atuação da biota halofílica (**S9**).

Por outro lado, um segundo impacto (**I2**) identificado se trata do comprometido e potencial suspensão da potencialidade para o cultivo associado de microalgas e Artemia (**S5**), o qual já se encontra também comprometido em função do comentado sobre o primeiro impacto. Todavia, este segundo impacto é resultante da interação entre a redução da biodiversidade (**E4**) e do desequilíbrio ecológico no setor intermediário (**E5**), causados pelo comprometimento do fluxo de matéria e energia (**P2**) na salina. A este impacto também está associado o comprometimento e potencial suspensão dos serviços de filtro biológico da salmoura/purificação da salmoura realizado pelas microalgas e Artemia (biota

halotolerante) (**S8**), melhoramento biológico da produção de sal através da atuação da biota halofílica (**S9**) e a própria produção de sal (**S10**).

Por sua vez, a interação resultante comprometimento do processo de produção de sal (**E6**) e da redução da biodiversidade (**E7**) geram o sério impacto da perda de salmoura por infiltração e potencial salinização do lençol freático (**I3**). Se por um lado essa infiltração compromete a gestão adequada da salina por dificultar o planejamento e cálculo do volume consumido para a produção, também pode acarretar no risco de salinização do lençol.

Em termos econômicos, um dos impactos mais sérios é o comprometimento da produção de sal, o qual pode ser ocasionado por dois impactos originados de diferentes maneiras (**I4** e **I5**). A primeira de comprometimento deste serviço se trata da interação entre a suspensão do efeito impermeabilizante da comunidade bentônica (**E8**), do filtro biológico contra impurezas no processo produtivo (**E9**) e da redução da qualidade do cristal de halita (**E10**), gerados tanto pela redução da biodiversidade bentônica (**P3**), quanto pela redução da biodiversidade (**P4**).

Por fim, a partir dos impactos identificados na análise acima, foram analisadas 05 respostas do sistema salina, cuja primeira seria funcionando normal da salina enquanto atividade de produção mineral porém sem sustentar a pesca artesanal (**R1**). Esta resposta do ambiente se daria em virtude do comprometimento ou mesmo suspensão da disponibilidade de estoque pesqueiro (**I1**), assim como da degradação do habitat estável para o desenvolvimento das populações piscícolas (**I2**), a qual seria responsável de imediato também pela redução da biodiversidade nesse setor inicial da salina (**R2**).

Em conjunto com essa primeira resposta, também foi evidenciada a elevada potencialidade de o ecossistema se mostrar potencialmente inviável para o cultivo associado de microalgas e *Artemia* (**R3**), estando esta resposta diretamente relacionada com a redução da biodiversidade (**E4**) e com o desequilíbrio ecológico no setor intermediário (**E5**). Esse desequilíbrio ecológico, associado à redução da biodiversidade nos setores inicial e intermediário da salina (**E1**, **E4**, **E7**) também

são responsáveis pelo comprometimento ou potencial suspensão (**R4**) de um dos serviços que apresentam mais alta relevância ecológica das salinas que é o funcionamento como zonas de refúgio e alimentação par aves migratórias (**S6**).

De uma maneira mais integrada, outra resposta esperada do meio seria o comprometimento da produção de sal sem influência das comunidades biológicas (**R5**), a qual interfere diretamente na esfera econômica deste sistema, podendo influir seriamente na suspensão das atividades e abandono da salina. Tal resposta encontra-se relacionada a suspensão ou comprometimentos dos serviços de de filtro biológico da salmoura/purificação da salmoura realizado pelas microalgas e Artemia (biota halotolerante) (**S8**), melhoramento biológico da produção de sal através da atuação da biota halofílica (**S9**) e a própria produção de sal (**S10**). Estes fortes impactos foram resultantes diretamente da redução da biodiversidade (**E4**), do desequilíbrio ecológico no setor intermediário (**E5**) e do comprometimento do filtro biológico contra impurezas no processo produtivo (**E9**), associados à eutrofização (**D2**), assim como em função da redução da qualidade do cristal de halita (**E10**) e do funcionamento da salina sob risco de redução da produtividade de sal (**E11**), os quais são produto direto do manejo intensivo de salmouras (**D3**) e da pesca excessiva de Artemia (**D4**).

4.1.4 Conclusão

Avaliando-se a sequência de serviços ambientais prestados pelas salinas, assim como a partir da integração dos dados pelo método DPSIR, conclui-se que além do principal serviço ambiental prestado por esse ecossistema que é a produção de sal sem custos adicionais de produção, outros serviços associados são de suma importância para os seres humanos. Após essa análise, evidenciou-se claramente a constante necessidade da manutenção e manejo da biodiversidade, a qual está diretamente relacionada com um maior controle/aumento do processo de produção.

A partir desta análise, verificou-se que as salinas são sistemas integrados, tanto do ponto de vista ecológico, como também em uma abordagem mais ampla, pois são um dos raros exemplos em que o homem de fato consegue integrar a variável ecológica com a econômica. Essa formativa é observada pois, de um lado tem-se o ecossistema da salina, composto por um mosaico de habitats integrados, cuja salinidade é um dos principais agentes reguladores da biodiversidade encontrada em cada habitat. Por sua vez, é exatamente a logística da produção de sal marinho que implica nessa segmentação espacial de habitats, que apresentam como resposta imediata esse gradiente espacial da salinidade, até o setor final de produção (cristalizadores).

Assim, percebe-se que quando corretamente manejado, um sistema biológico estável típico de uma salina se traduz como uma ferramenta de auxílio à produção de sal, configurando-se neste caso como o principal serviço ecossistêmico voltado exclusivamente a um importante mercado sustentável da economia global: a produção de sal marinho por evaporação solar.

4.2 - Salinas solares brasileiras - usos antigos e futuras possibilidades

Salinas solares costeiras são habitats antropogênicos exploradas para produção de sal marinho, onde a água do mar torna-se progressivamente saturada por evaporação (López et al., 2010). Este ecossistema de multi-lagoas oferece uma gama de ambientes com diferentes níveis de salinidade, a partir da água do mar até a saturação de cloreto de sódio e às vezes até além (Davis, 2000). Com a evaporação da água e o aumento de salinidade, a mesma é bombeada ou alimentada por gravidade para o tanque seguinte, de modo que a salinidade em cada tanque particular é mantida dentro de limites estreitos, essencialmente constante (Pedrós-Alió et al., 2000).

No caso específico do Brasil, as maiores salinas estão localizadas no litoral da região nordeste do país, mais especificamente nas margens dos estuários do litoral norte do Rio Grande do Norte. As salinas localizadas neste trecho da costa brasileira contam com 97% de sal marinho produzido no país e exportado, influenciando diretamente as economias locais e regionais através da criação de empregos e pagamentos de impostos (De Medeiros Rocha et al., 2009).

Considerando a forma de exploração e colheita de sal, pode-se classificar as salinas solares brasileiras em duas categorias: artesanal (manual) e mecanizada. A colheita nas primeiras é pequena, com uma área média de 2-50 ha, dividido em 10-20 tanques (evaporadores e cristalizadores), com a colheita manual de sal e uma produção de aproximadamente 200-20.000 ton.ano⁻¹. O tempo de retenção curto da salmoura em cada evaporador impede o pleno desenvolvimento de um ecossistema estável (López et al., 2010; Davis, 2000; Pedrós-Alió et al., 2000; De Medeiros Rocha et al., 2009; Oren, 2009).

O resultado neste caso é um sal considerado como de segunda qualidade por agentes químicos, especialmente o seu teor de impurezas orgânicas e inorgânicas (Oren, 2009; De Medeiros Rocha e Câmara, 1993). Por outro lado, uma típica salina mecanizada normalmente produz mais de 150.000 ton.ano⁻¹, com

uma área de produção de mais de 500 ha. O tempo de retenção das salmouras é mais longo e a água do mar captada pela salina chega como salmoura concentrada na zona de cristalização de aproximadamente três meses mais tarde. Este trabalho apresenta uma breve revisão, em que além da produção de cloreto de sódio, este sistema tem potencial para muitas outras atividades econômicas, sendo possível associar a produção de sal com outros usos potenciais múltiplos das salinas.

4.2.1 Pesca Artesanal

O consumo de peixe e derivados tem sido documentado como tendo efeitos benéficos para a saúde humana devido à presença de ômega-3, ácidos graxos poliinsaturados (AGPI) (Gouveia et al., 2009). Para as populações pobres das regiões costeiras do semiárido, que sofrem de deficiência nutricional, a pesca artesanal é uma das únicas fontes de suprimento e obtenção de renda.

Em outra esfera, associada com a entrada de peixes nas salinas por meio das estações de bombeamento, a pesca artesanal nos evaporadores das salinas é uma atividade que vem sendo desenvolvida desde o período de construção. Várias famílias que vivem perto das salinas dependem diretamente dessa atividade para sobreviver (De Medeiros Rocha et al., 2009).

Esta atividade notavelmente mostra a relação direta entre os ecossistemas semi-artificiais da salina (Davis, 2000; Oren, 2009) com os pescadores locais (De Medeiros Rocha, 2009). A pesca também é feita no estuário e canais de maré, mas, a captura da maioria das espécies ocorre mais rapidamente e em maior quantidade nos evaporadores iniciais das salinas. Esta facilidade diz respeito ao fato de que várias espécies de peixes, moluscos e crustáceos são capturados em estágios juvenis nas estações de bombeamento da água do estuário, puxados para as salinas por bombas (Davis, 2009; López et al., 2010).

A maioria destas espécies não sobrevive ao aumento gradual da salinidade ao longo do circuito de produção, morrendo logo após a transferência de água nos

evaporadores iniciais, quando a salinidade começa a chegar a 100-120 gL⁻¹. Portanto, ainda neste campo os pescadores atuam como importantes elementos controladores do ecossistema, uma vez que a biota morta é depositada em parte nas margens dos evaporadores, causando forte odor e aumentando consideravelmente a matéria orgânica dentro da salina (De Medeiros Rocha e Câmara, 1993; De Medeiros Rocha et al., 2009).

4.2.2 Extração de sais secundário de "águas mãe" ("bitterns"), usada para a indústria química

A sequência de sais depositados pela evaporação da água do mar é de acordo com a solubilidade dos seus vários elementos e moléculas. Assim, a precipitação de sais inclui os compostos menos solúveis na base para o mais solúvel na parte superior da sequência, na seguinte ordem: carbonatos (CaCO₃), o gesso (CaSO₄), halita (NaCl), sais de potássio silvinita (sistema NaCl-KCl), e os sais de magnésio (bischofita - MgCl₂.6H₂O), sendo também considerada a presença de outros compostos, de acordo com variações físicas e químicas da solução salina durante as várias fases de evaporação (Baseggio, 1973).

O cristal de NaCl (halita) é formado quando a concentração total de sal atinge valor acima de 300 gL⁻¹. Depois da maior parte do NaCl ter precipitado para o fundo dos tanques cristalizados, a salmoura concentrada remanescente (chamada popularmente se “mão mãe” - "*bitterns*" em inglês) contém principalmentesais de Mg²⁺, K⁺, Cl⁻ e SO₄²⁻ (Oren, 2002). A salmoura remanescente após a cristalização da halita é rica em nutrientes, mas, aparentemente desprovida de vida, como nenhum organismo tolera essa concentração extremamente alta de Mg²⁺ exceto as halobactérias do grupo Archea (Javor, 1989).

Quando todo o carbonato de cálcio, sulfato de cálcio, e 83% da halita é cristalizado a partir d'água do mar por concentração solar, a “água-mãe” é com

poucas exceções colocada de volta para o mar. Em alguns casos, como na Espanha, são utilizadas para a produção de sais de alguns epsomita, biscofita e bromo, mas não para a produção de sais de potássio. No prosseguimento da evaporação, uma mistura complexa de halita, silvinita, e os sais duplos de potássio, sódio, magnésio começa a cristalizar, onde a recuperação de produtos comercializáveis torna-se difícil e ineficiente. No entanto, na ausência ou quase ausência de sulfato, a “água-mãe” pode ser facilmente processada para recuperar a alta pureza da silvita e bisfita com excelente eficiência (Fernández-Lozano, 1973).

Essa salmoura hipersalina é facilmente passível de recuperação da silvinita e hexa-hidrato de cloreto de magnésio por uma combinação de evaporação solar e cristalização fracionada. Apesar da fase química muito complexa, de um método de cristalização simples pode ser utilizado para a recuperação eficiente da alta pureza silvita e epsomita (Fernández-Lozano, 1973).

Já o magnésio é profundamente presente na salmoura evaporitos como o cloreto (9,44%), sulfato (6,5%) e de brometo (0,22%). A matéria-prima da indústria de magnésio é, no entanto, o hidróxido de magnésio. Este é então tratado com ácido clorídrico para se obter o cloreto de magnésio. O valor potencial de cloreto de magnésio como matéria-prima é estabelecida, mas envolve a separação de sais diferentes para se obter o cloreto de magnésio numa forma relativamente pura. Cloreto de magnésio ocorre na natureza como bischofita ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) e como carnalita ($\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), ambos de origem oceânica (Jadhav, 1983).

A produção de hexa-hidrato de cloreto de magnésio cristalino por evaporação solar de baixo-sulfato contendo “água mãe” no interior rendeu um produto adequado para a produção electrolítica de metais de magnésio. Usando essa salmoura para a produção de hexa-hidrato de cloreto de magnésio cristalino não foi tentada, provavelmente devido ao elevado valor do teor de sulfato. Nas regiões áridas e semiáridas tropicais, a evaporação solar da água mãe atinge elevados valores, e a uma humidade relativa de equilíbrio de 32% (Derby, 1916). Isto claramente se aproxima do equilíbrio do sistema puro de cloreto de magnésio

hexa-hidratado e água que permita tirar vantagem da evaporação solar no processo (Jadhav, 1983).

4.2.3 Produção de “*flor de sal*”

A “*Flor de sal*” é uma camada fina de sal que se forma sobre a superfície da maré de sal, durante a evaporação contínua. O sal não sofre qualquer transformação, para além da secagem natural do sol. Este mineral contém todos os 84 oligoelementos e micronutrientes encontrados no mar, sendo uma fonte natural de potássio, cálcio, cobre, zinco e magnésio (Donadio *et al.*, 2010). Diversos autores afirmam que um nível adequado deste sal é muito importante para o funcionamento do corpo, e é altamente solicitada pelo mercado de gastronomia internacional, substituindo o sal refinado (He e MacGregor, 2009; Donadio *et al.*, 2010).

Este produto mineral tem cor extremamente branca, com estrutura cristalina rígida e alto teor de umidade. Embora, aparentemente, formado por pequenos cristais de sal, na verdade, esta forma de halita tem uma estrutura organizada em grupos de microcristais.

Em relação à produção, este mineral é formado na superfície da salmoura, apenas uma camada fina de cristais de sal, que são colhidas diariamente e seco ao sol. A colheita é feita diariamente nos dias mais quentes em salinas tradicionais (Donadio *et al.*, 2010). A flor de sal é embalada e com nenhum outro processamento, ao contrário do que acontece com o sal do mar para o consumo que passa por um processo de centrifugação, lavagem e secagem pelo calor da combustão do sol, e peneirado.

A importância dada a este produto diz respeito à área necessária para a produção. Enquanto as empresas salinas de grande porte precisam de quilômetros para instalações, operados por grupos empresariais, a flor de sal pode ser obtida em salinas com área total menor que 01 hectare. Outro fato diz respeito à

produção é: uma vez que é um produto artesanal, essas pequenas salinas podem ser operadas por grupos familiares, tornando-se uma nova fonte de renda para as populações que vivem em áreas hipersalinas do país, ou até mesmo de inovar pequenas salinas artesanais remanescentes.

4.2.4 Cultura de massa de *Artemia* para a aquicultura

Com o desenvolvimento das incubadoras de peixes e mariscos para a aquicultura, a utilização da *Artemia* como uma dieta para o cultivo de várias espécies de larvas se difundiu devido à facilidade da sua utilização e do valor nutritivo elevado (Zmora *et al.*, 2002). Cistos de *Artemia* estão disponíveis durante todo o ano em grandes quantidades ao longo das margens de lagos hipersalinos, lagoas costeiras e salinas solares espalhadas pelos cinco continentes (Zmora *et al.*, 2002).

Após a colheita e processamento, os cistos são disponibilizados em recipientes e armazenados como comida viva “sobre demanda”. No entanto, a expansão da produção aquícola fez a demanda por cistos de *Artemia* agora excede a oferta. Os preços subiram exponencialmente, transformando a *Artemia* em um gargalo para a expansão do incubatório da aquicultura de peixes marinhos e crustáceos. Em particular, muitos países em desenvolvimento não podem dar ao luxo de importar os cistos muito caros (Gouveia *et al.*, 2009).

O uso de um dispositivo, uma salina solar (uma fonte de energia limpa e renovável) iria economizar energia e tempo, para acelerar tanto o tamanho da *Artemia* como o tempo de eclosão de cistos e o desenvolvimento de náuplios de *Artemia*. Uma vez que os recém-eclodidos náuplios de *Artemia* são atraídos para a luz, podem ser facilmente encontrados pois se concentram em uma área com luz artificial, o permite a sua colheita.

4.2.5 Microalgas e culturas halobacteria para extração de beta-caroteno e glicerol

A algas verde halofílicas unicelulares do gênero *Dunaliella* são cultivadas em todo o mundo como uma fonte de produtos químicos valiosos. O produto mais importante é o β -caroteno, mas outras utilizações têm sido exploradas também, incluindo a produção de glicerol e a pirólise da biomassa da *Dunaliella* para a produção de petróleo (Oren, 2002).

Por outro lado, o efeito positivo da presença de comunidades densas de Archaea halofílica vermelha nos tanques cristalizadores das salinas tem sido reconhecido há muito tempo (Davis, 2000). A coloração avermelhada que se desenvolve nesses tanques é causada principalmente por halobactérias do gênero Archaea, mas cepas de *Dunaliella*, e possivelmente até mesmo bactérias halófilas vermelhas do gênero *Salinibacter* contribuem também para a absorção de energia da luz (Oren, 2002). Esta coloração dos microrganismos retêm a radiação solar, elevando a temperatura da salmoura e a taxa de evaporação, o que aumenta a produção de sal (Javor, 1989; Davis, 2009).

A fim de melhorar a produção de sal de salinas sem comunidades suficientemente densas de Archaea, a fertilização com nutriente orgânico tem sido sugerida (Davis, 2000). É importante ressaltar que os C50 derivados bacterioruberin são os carotenóides principais do Halobacteriaceae, os quais provaram ser de grande valor econômico, cuja extração já vem sendo feita em vários países. O extrato deste composto isolado de um evaporador de salina perto de Alexandria, no Egito, produz quantidades consideráveis do ketocarotenoid cantaxantina, cuja exploração destes organismos para a produção de cantaxantina comercial já vem sendo sugerida a mais de dez anos (Asker e Ohta, 1999; Oren, 2009).

Por sua vez, a *Dunaliella* tem uma proteína de composição semelhante à da farinha de soja, mas com maior teor de lisina (Galinski e Tindall, 1992). É, portanto, adequado para utilização como matéria-prima na maricultura

(caranguejo, camarão, mariscos) e para os animais, tais como galinhas (Oren, 2002).

A conversão de 22,3% da proteína de algas foi obtida a 350 °C para um produto que contém 69,9% de carbono, 7,7% de hidrogênio e 7,3% de nitrogênio. A adição de KCl, MgCl₂ e MnCl₂ aumentou o rendimento de 27% com 75,5% de carbono, 8,5% de hidrogênio, e 6,8% de nitrogênio (Goldman *et al.*, 1981). A um preço estimado de cerca de US\$ 40 por barril (Ginzburg, 1991), esse processo não é economicamente viável no presente.

Dunaliella está também a ser usada como um aditivo em cosméticos cremes antirrugas na pele em combinação com minerais do Mar Morto (Ma'or *et al.*, 2000). A preparação de células de algas alegadamente ligada de íons Ca²⁺ e Mg²⁺. No entanto, os autores afirmam que “absorção baixa de cálcio e de magnésio obtida a partir da biomassa de algas, e a tendência para a liberação de minerais em baixo pH normal da pele humana (5,5), levou à conclusão de que a vantagem destas algas como um veículo mineral para o Ca e Mg é limitado (Oren, 2002).”

4.2.6 O papel do sistema biológico sobre manutenção da qualidade da salmoura

O estudo em comunidades fototróficas que habitam salinas não é apenas de interesse puramente científico: as esteiras bentônicas de cianobactérias que se desenvolvem em lagoas salinas com salinidade intermédia efetivamente vedam a parte inferior destes lagos e evita a fuga da água salgada; por outro lado, em Cianobactérias unicelulares esta esteira e na salmoura, por vezes, produz grandes quantidades de muco polissacarídeo que afeta desfavoravelmente o processo de produção de sal (Oren, 2009; Davis e Giordano, 1996).

A pigmentação vermelha das comunidades microbianas densas em salinas é causada tanto pelo β -caroteno acumulado pela alga verde *Dunaliella salina*, a

qual é o principal produtor ou único primário nestes tanques, assim como por o carotenóide e da retina base de proteínas os pigmentos da comunidade heterotrófica de procariotas que se desenvolvem à custa do carbono fotossinteticamente derivados de *Dunaliella* fixado (Litchfield, 1991). Esta pigmentação vermelha aumenta a absorção de luz pela salmoura e aumenta a sua temperatura, aumentando assim o processo de produção de sal (Javor, 1989). Mesmo considerações puramente estéticas têm sido utilizadas como incentivo para estudar as comunidades altamente diversas de microrganismos fototróficos em salinas (Oren, 2009).

Recentemente foram feitas afirmações de que o presente Archaea halofílica nas salmouras do cristalizador pode ser diretamente envolvido na formação de cristais de sal-gema. Sugeriu-se que a influência halobacteriana na taxa de crescimento de cristal e hábito cristalino, e que as células e seu envelope S-camadas podem servir como modelos na nucleação e formação de cristal halita (López-Cortés e Ochoa, 1998).

A imprescindibilidade de *Artemia* (*Artemia salina*) para a produção de sal encontra-se na capacidade de os animais a partir da salmoura remover partículas de até 50 micrômetros de diâmetro, para metabolizar grandes quantidades de matéria orgânica em dióxido de carbono ingeridos, para depositar os resíduos em pelotas fecais que são incorporados pela comunidade bentônica, e para fornecer alimentos altamente adequados para as populações *Halobacterium salinarum* nas lagoas a jusante (De Medeiros Rocha e Câmara, 1993).

Produção de polissacarídeo extracelular pelas cianobactérias pode ser ativada como resultado de limitação de nutrientes, como forma de eliminar o excesso de carbono fixo fotossinteticamente produzido (Roux, 1996). Uma característica proeminente das esteiras microbianas dentro das crostas de gesso, bem como nos tanques de evaporação de menor salinidade, é muitas vezes as quantidades copiosas de muco polissacarídeo associados com o crescimento das Cianobactérias unicelulares Euhalothecae-Aphanothecae. Estes organismos também se espalham para a água sobrejacente em alguns sistemas salinos (Oren, 2009).

A formação de lodo em massa pode afetar negativamente o processo de produção de sal (De Medeiros Rocha e Câmara, 1993; Roux, 1996). Para controlar florações excessivas dessas cianobactérias, a introdução de camarão de água salgada para o pastejo (*Artemia*) tem sido sugerido como um processo de gestão eficaz (Oren, 2009; De Medeiros Rocha e Câmara, 1993).

4.2.7 Salinas solares como zonas de refúgio para aves migratórias

Em um cenário de intensa ocupação da zona costeira, estes ecossistemas aquáticos de grandes zonas representam importante refúgio para muitas espécies de aves migratórias além de ser o habitat de muitas espécies endêmicas de ambientes hipersalinos.

Em todo o mundo, certas aves aquáticas usam as salinas como locais para descanso, alimentação e reprodução (López *et al.*, 2010; Masero, 2003). Esta guilda de espécies é uma das mais frequentemente consideradas em relação à apreciação do valor natural destas zonas úmidas para a conservação como áreas protegidas.

As salinas são consideradas habitats de alta qualidade de reprodução de alimentação para muitas espécies de aves costeiras, não apenas com base no número elevado de alimentação de aves que elas suportam, mas é possível que as aves possam também ser encontradas em altas densidades em seus habitats. Há confirmação empírica que salinas são realmente habitats adequados de alimentação para várias espécies de aves migratórias costeiras que dependem de habitats intertidais (Masero, 2003).

Quando salinas são encontradas perto inverno e/ou áreas de pousio, a sua destruição poderia causar uma migração ou ainda um aumento da mortalidade das aves. Na baía de Cádiz, por exemplo, a coincidência de perda de salinas, e do declínio e redistribuição de algumas espécies de aves na costa levaram à sugestão de um nexo de causalidade entre eles (Perez-Hurtado *et al.*, 1993).

De um ponto de vista funcional, o fator-chave para as salinas do é o gradiente de salinidade. O processo de produção de sal determina a repartição ecológica dentro do sistema. Esta segregação ecológica é muito importante para a conservação destes ambientes, pois a heterogeneidade espacial pode fornecer às espécies uma alta diversidade de habitats, adequado para as aves aquáticas migratórias. Tais habitats são os nós de conectividade ecológica (López *et al.*, 2010).

4.2.8 Conclusão

Há uma necessidade urgente de estabelecer uma estratégia que promova a inclusão das salinas solares brasileiras como zonas de conservação, em cujos limites só podem ser desenvolvidas atividades que não prejudicam a estabilidade ecológica desses ecossistemas importantes e únicos. Estes ambientes têm uma dinâmica ecológica no espaço e no tempo, onde o conhecimento existente sobre a diversidade e potencial de uso dos recursos naturais encontrados ainda são incipientes. Portanto, a gestão integrada de bacias salinas solares tem implícita a necessidade de um acompanhamento contínuo e a realização de estudos sobre a viabilidade desses e outros usos potenciais em lagoas salinas brasileiras.

CAPITULO 5 – CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

CAPITULO 5 – CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 – Conclusões

Embora diversos esforços venham sendo tomados com vista à conservação das salinas solares brasileiras, verificou-se a necessidade em se avaliar as condições ecológicas desses ecossistemas e das mudanças ambientais que nele ocorreram desde a sua construção. Neste sentido, uma primeira iniciativa deveria ser o levantamento da abundância, presença ou ausência de aves, as quais são indicadores eficazes da integridade biológica em zonas úmidas e também são consideradas bons indicadores, onde o uso das salinas por aves aquáticas é uma mais frequentemente consideração com relação à avaliação do valor natural destas zonas úmidas para a conservação como áreas protegidas. Deste item, ressalta-se a importância da Convenção de Ramsar (Convenção sobre as Zonas Úmidas de Importância Internacional), a qual é um tratado inter-governamental sobre zonas húmidas adotado a 2 de Fevereiro de 1971, na cidade iraniana de Ramsar, relativo à conservação e ao uso racional das zonas úmidas.

A Convenção de Ramsar é considerado o primeiro dos tratados globais sobre conservação. Os sítios da sua lista são reconhecidos a partir de critérios de representatividade do ecossistema, de valores faunísticos e florísticos, e da sua importância para a conservação de aves aquáticas e peixes

É importante afirmar que o estabelecimento das salinas no litoral semiárido brasileiro se deu por vários fatores condicionantes, como o aproveitamento das várzeas salinas dos rios, clima e tipo de solo. Nesse sentido, é evidente que as condições ambientais influenciam diretamente no processo produtivo da atividade salineira e constituem o componente do sistema ambiental físico, o qual proporciona as condições necessárias para o desenvolvimento dessas indústrias no litoral setentrional do Rio Grande do Norte.

Com relação a localização de salinas ao longo dos estuários, as análises realizadas neste trabalho distinguiram 02 setores com características distintas (baixo e alto curso do estuário), onde as maiores concentrações salinas (reportadas

claramente pela condutividade elétrica, capacidade de troca catiônica e saturação por sódio foram obtidas no que seria uma grande zona de acumulação no alto curso do estuário e estações com concentrações em teores intermediários próxima à costa. Certamente estes resultados se deram em função de fatores como maior influência da maré (próximo à costa), posição geográfica ao longo do estuário, aporte de origem antrópica (caso do fósforo). Todavia, as áreas onde as salinas foram instaladas são ambientes com elevado processo de salinização natural e tipicamente em função da dinâmica das marés estuarina e do clima semi-árido, não sugerindo fontes continentais desses metais para a área.

Verificou-se uma ampla variação entre os parâmetros limnológicos ao longo do circuito de produção de sal, onde foi notória a importância da precipitação fracionada dos sais da água do mar enquanto formadora de barreiras geoquímicas ao longo do circuito de produção de sal. Por sua vez, o aumento progressivo da salinidade causou uma contínua depleção em oxigênio, tendo em vista o decréscimo da solubilidade deste elemento com o aumento da salinidade no último caso.

Por outro lado, em termos de importância destes ecossistemas, embora o principal serviço ambiental prestado por esse ecossistema que é a produção de sal sem custos adicionais de produção, outros serviços associados são de suma importância para os seres humanos. Evidenciou-se claramente neste trabalho a constante necessidade da manutenção e manejo da biodiversidade, a qual está diretamente relacionada com um maior controle/aumento do processo de produção. Assim, percebeu-se que quando corretamente manejado, esse sistema biológico das salinas se traduz como uma ferramenta de auxílio à produção de sal, configurando-se neste caso como o principal serviço ecossistêmico voltado exclusivamente a um importante mercado sustentável da economia global: a produção de sal marinho por evaporação solar.

Portanto, espera-se que este trabalho possa vir a contribuir com uma nova avaliação sobre salinas brasileiras, de maneira que possam ser repensadas estratégias tanto para a implantação de novas salinas quanto para a efetiva

definição de ações voltadas para a sua conservação. Com base nos descritos neste trabalho, diferentes aspectos das salinas brasileiras foram caracterizados, os quais poderão ser tomados como referenciais iniciais para novas investigações, assim como para serem inseridos nos sistemas de gestão.

5.2 – Considerações finais

Além da importância para a economia local, as salinas também representam um patrimônio histórico, natural e arquitetônico ainda pouco reconhecido. Em termos de história e arquitetura, nelas ainda são replicadas as técnicas de construção e gestão desde os primórdios dessa atividade. A evolução dessa atividade no Brasil está entrelaçada diretamente com esse período da colonização, onde a sua descoberta das reservas naturais e posterior produção de sal nas salinas passou a impulsionar o desenvolvimento de outras atividades a ela relacionadas, configurando-se nesse período como uma das principais atividades econômicas desenvolvidas nas margens das desembocaduras dos principais rios.

É necessário frisar que a maior parte das salinas foram implantadas efetivamente nas áreas onde ocorria naturalmente o processo de formação natural do cloreto de sódio, através da evaporação solar nas planícies hipersalinas onde as águas das marés ficavam acumuladas. Em termos econômicos e de reduzido impacto ambiental, as salinas podem ser consideradas a única alternativa para a ocupação dessas planícies, uma vez que evaporação natural da água do mar implica na constante precipitação de sais (CaCO_3 , NaCl , MgCl_2 , NaBr , entre outros) na superfície do solo, acarretando em um processo de salinização natural. Estes sais, em virtude do longo período de evaporação, ficam retidos no solo em forma de diversas camadas (de acordo com os ciclos de precipitação), onde a inundação destas áreas apenas veio a proporcionar o controle/manejo da evaporação da salmoura, possibilitando a extração de uma maior quantidade de sais cristalizados na superfície.

A abordagem realizada neste trabalho dará suporte para as decisões sobre as práticas de gestão e manejo das áreas atualmente ocupadas pelas salinas, uma vez que estas sistemas são o único sistema biológico capaz de ser instalado em planícies hipersalinas sem a necessidade de intervenção geotécnica.

A discussão empreendida ao longo deste trabalho de tese buscou contribuir para o preenchimento da enorme lacuna de conhecimento acerca da ecologia de salinas solares no Brasil. Nesse sentido, verifica-se que esses ambientes apresentam uma dinâmica ecológica no espaço e no tempo, onde o conhecimento existente sobre a diversidade e potencial uso dos recursos naturais aí encontradas aí são incipientes. Para tanto, o manejo integrado das salinas solares implica na necessidade de acompanhamento contínuo e realização de estudos mais aprofundados acerca da identificação e caracterização da biota e processos ecológicos e biogeoquímicos que ocorrem ao longo do circuito na salina. Portanto, a compreensão das causas que influenciam na distribuição espacial dos seres vivos se constitui em uma ferramenta útil para as decisões sobre as práticas de engenharia e manejo a serem adotadas nas salinas.

A partir desta análise, verificou-se que as salinas são sistemas integrados, tanto do ponto de vista ecológico, como também em uma abordagem mais ampla, pois são um dos raros exemplos em que o homem de fato consegue integrar a variável ecológica com a econômica. Essa formativa é observada pois, de um lado tem-se o ecossistema da salina, composto por um mosaico de habitats integrados, cuja salinidade é um dos principais agentes reguladores da biodiversidade encontrada em cada habitat. Por sua vez, é exatamente a logística da produção de sal marinho que implica nessa segmentação espacial de habitats, que apresentam como resposta imediata esse gradiente espacial da salinidade, até o setor final de produção (cristalizadores).

Com relação aos serviços prestados por estes ecossistemas, evidencia-se a necessidade de se empreender um aprofundamento sobre a quantificação destes serviços, voltando-se inclusive para a sua potencial valoração. Esta etapa com certeza representará um substancial avanço na investigação sobre os serviços ambientais prestados pelas salinas solares, cuja valoração de fato irá representar ainda mais a importância de cada serviço.

Em virtude da crescente especulação imobiliária além da intensificação da eutrofização na zona costeira do Brasil, há uma necessidade urgente de

estabelecer uma estratégia que promova a inclusão das salinas solares brasileiras como zonas de conservação, em cujos limites só podem ser desenvolvidas atividades que não prejudicam a estabilidade ecológica desses ecossistemas importantes e únicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abid, O.; Sellami-Kammoun, A.; Ayadi, H.; Drira, Z.; Bouain, A.; Aleya, L. 2008. Biochemical adaptation of phytoplankton to salinity and nutrient gradients in a coastal solar saltern, Tunisia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **80**: 391–400.

Abílio, G.S.; Cupelo, A.C.G.; Rezende, C.E. 2004. Metal distribution in sediments of an offshore exploration area Santos basin Brazil. In: 4th International Symposium Environmental Geochemistry in Tropical Countries. *Book of Abstracts* (pp. 320-321). Armação dos Búzios: 4th Int. Symp. Env. Geoch. in Trop. Count.

Aleya, L.; Desmolles, F.; Bonnet, M.P.; Devaux, J. 1994. The deterministic factors of the *Microcystis aeruginosa* blooms over a biyearly survey in hypereutrophic reservoir of Villerest (Roanne, France). *Archiv für Hydrobiologie* **99**: 1–26.

Al-Farraj, A. 2005. An evolutionary model for sabkha development on the north coast of the UAE. *Journal of Arid Environments* **63**: 740-755.

Almeida, C. A. B. 2005. A exploração do sal na costa portuguesa a Norte do Rio Ave. Da Antiguidade Clássica à Baixa Idade Média. In: I Seminário Internacional sobre o sal português. *Anais...Instituto de História Moderna da Universidade do Porto*, p.137 – 170.

Álvarez, M. 2007. Islas de agua en un mar de tierra. In: Museo Nacional de Ciencias Naturales (ed). *150 Años de ecología en España*. MNCN/CSIC, Madrid: 59–73.

Álvarez-Rogel, J.; L. Carrasco, C.M.; Marína, J.J. 2007. Soils of a dune coastal salt marsh system in relation to groundwater level, micro-topography and vegetation under a semiarid Mediterranean climate in SE Spain. *Catena* **69(2)**: 111-121.

Amaro, V. E.; Silva, D. R. V.; Souza, F. E. S.; Souto, M. V. S.; Araújo, A. B.; Souza, A. S. 2005. Uso de imagens IKONOS de alta resolução como base para o mapeamento temático em escala 1:10.000 do Sistema Estuarino Apodi-Mossoró e seus entornos no Litoral Setentrional do Rio Grande do Norte. In: Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, *Anais...* 16-21 abril, INPE, p. 3395-3401.

Amaro, V. E. (Coord.). 2004. Mapas de uso e ocupação do solo e das unidades

geoambientais do estuário do rio Apodi-Mossoró/RN, na escala de 1:10.000, baseado em imagens IKONOS de 2000 a 2002. *Relatório Técnico*. In: IDEMA. Zoneamento Ecológico-Econômico dos estuários do litoral norte do Rio Grande do Norte. Natal/RN: FUNPEC/UFRN.

Amat F.; Hontoria, F.; Navarro, J.C.; Vieira, M.N.R.; Mura, G. 2007. Biodiversity loss in the genus *Artemia* in the Western Mediterranean Region. *Limnetica* **26**(2): 387-404.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). 1992. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 18 ed. Washington, DC, USA: APHA.

Anderson, A.; Haecky, P.; Hagström, A. 1994. Effect of temperature and light on the growth of micro- nano- and pico-plankton: impact on algal succession. *Marine Biology* **120**: 511–520.

Andrade, M. C. 1995. *O território do sal: a exploração do sal marinho e a produção do espaço geográfico no Rio Grande do Norte*. Mossoró. Coleção Mossoroense, vol. 848.

A'rbocz, I. I. L. 1986. *Ensaio sobre a história econômica do RN*. Natal: UFRN, Ed. Universitária.

Asker, D.; Ohta, Y. 1999. Production of canthaxanthin by extremely halophilic bacteria. *J. Biosci. Bioengin.* **88**: 617-621.

Atkins, J. P.; Burdon, D.; Elliott, M.; Gregory, A. J. 2011. Management of the marine environment: Integrating ecosystem services and societal benefits with the DPSIR framework in a systems approach. *Marine Pollution Bulletin* **62**: 215–226.

Ayres, M., J.M. Ayres, D.L. Ayres, and A.S. Santos. 1988. *BioEstast*. Versão 1.0. Sociedade Civil Mamirauá, MCT – CNPq, Belém, Pará, Brasil.

Baas-Becking, L.G.M. 1931. Historical notes on salt and salt-manufacture. *Scient Mon.* **32**: 434-446.

Barbier, E.B. 1993. Sustainable use of wetlands – Valuing tropical wetland benefits: Economic methodologies and applications. *The Geographic Journal* **159**(1): 22–32.

Baseggio G. 1973. The Composition of sea water and its concentrates. In *Proceedings of the Fourth Symposium on Salt*, 8 – 12 April 1973; Houston. Edited by Alan H. Coogan: Open Library: 351-358.

- Baudin, J. P. 1980. Contribution a l'étude écologique dès milieux saumâtres méditerranéens. *Vie et Milieu* **30**: 121–129.
- Beardall, J.; Young, E.; Roberts, S. 2001. Approaches for determining phytoplankton nutrient limitation. *Aquat. sci.* **63**: 44–69.
- Begon, M.; Townsend, C.R.; Harper, J.L. *Ecology: from individuals to ecosystems*. Oxford: Blackwell Publishing, 2006.
- Blum, W.E.H. 2002. Environmental Protection through Sustainable Soil Management, a Holistic Approach. *Adv Geocol.* **35**: 1-8.
- Bradford, D. F.; Franson, S. E.; Neale, A. C.; Heggem, D. T.; Miller, G. R.; Canterbury, G. E. 1998. Bird species assemblages as indicators of biological integrity in Great Basin rangeland. *Environmental Monitoring and Assessment* **49**: 1–22. doi:10.1023/A:1005712405487.
- Britton, R.H.; Johnson, A.R. 1987. An ecological account of a Mediterranean salina: the Salin de Giraud, Camargue (S. France). *Biol Conserv* **42**: 185–230.
- Camara, G.; Souza, R. C. M.; Freitas, U. M.; Garrido, J. 1996. Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling "Spring modeling". *Computares & Graphics* **20(3)**: 395 - 403, May - Jun.
- Canfield, D.E.; Des Marais, D.J. 1993. Biogeochemical cycles of carbon, sulfur, and free oxygen in a microbial mat. *Geochim Cosmochim Acta* **57**: 3971–3984.
- Carmo Júnior, J. B. 2006. Geografia da dominação - um estudo sobre a organização espacial da terra do sal (Macau-RN). *Dissertação de mestrado*. Universidade Federal do Rio Grande do Norte/Centro de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Natal-RN, 173 p.
- Carvalho Júnior, V; Felipe, J. L. A. 1982. *Introdução à história do sal*. Natal, Terra e Sal, n. 2.
- Casado, S. & C. Montes. 1991. Estado de conservación de los humedales peninsulares españoles. *Quercus* **66**: 18– 26.
- Casado, S.; Montes, C. 1995. *Guía de los lagos y humedales de España*. J.M. Reyero Editor, Madrid: 15–44.
- Cascudo, L. C. 1955. *História do Rio Grande do Norte*. Rio de Janeiro: Ministério da Educação e Cultura.

- Casillas-Martinez, L.; Gonzalez, M.L.; Fuentes-Figueroa, Z.; Castro C.M. 2005. Community structure, geochemical characteristics and mineralogy of a hypersaline microbial mat, Cabo Rojo, PR. *Geomicrob. J.* **22**: 269–281.
- Clarke, K. R.; Gorley, R. N. 2001. *PRIMER v5: User Manual/Tutorial*. PRIMER-E, Plymouth. 91 pp.
- Coleman, M.U.; White, M.A. 1993. The role of biological disturbances in the production of solar salt. *7th Symp Salt* **1**: 623–631
- Coleman, M.J. 2009. Carbon Sequestration in Benthic Mats of Solar Ponds, In: *Proceedings of the 9th International Symposium on Salt*, Sha Zuoliang (Ed.), Gold Wall Press, Beijing, Vol. A, 765-775.
- Copeland, B.J. 1967. Environmental characteristics of hypersaline lagoons. *Texas University Contributions to Marine Science* **12**: 207-218.
- Costa, A. A. 1993. *Tecnologia e desemprego: o caso da região salineira de Macau-RN*. Natal: UFRN/CCHLA,.
- Costa, D. F. S.; De Medeiros Rocha, R.; Lucena Filho, M. A.; Silva, A. A. 2013 Breve revisão sobre a evolução histórica da atividade salineira no Estado do Rio Grande do Norte (Brasil). *Sociedade & Natureza* **25**, (in press).
- Costa, D. F. S.; De Medeiros Rocha, R.; Cândido, G. A. 2010. Perfil de sustentabilidade e uso dos recursos naturais em salinas solares no estuário do Rio Apodi-Mossoró (RN). In: Cândido, G. A. (Org.). *Desenvolvimento Sustentável e Sistemas de Indicadores de Sustentabilidade: formas de aplicações em contextos geográficos diversos e contingências específicas*. Campina Grande - PB: Editora da Universidade Federal de Campina Grande, p. 401 - 426.
- Costa, D. F. S.; De Medeiros Rocha, R. M.; Vieira, M. N. R.; Barbosa, J. E. L.; Santos, F. A. M.; Medeiros, D. H. M. Costa, F. R. 2011. Spatial modeling of limnological parameters in solar saltponds. In: 11th International Conference on Salt Lake Research, *Anais...*, 9-14 de maio, Miramar-Argentina.
- Christofoletti, A. 1999. *Modelagem de sistemas ambientais*. São Paulo: Edgard Blücher LTDA.
- Crisman, T.L.; Takavakoglou, V.; Alexadridis, T.; Zalidis G. 2009. Rehabilitation of Abandoned Saltworks to Maximize Conservation, Ecotourism and Water Treatment Potential. *Global NEST Journal* **11(1)**: 24-31.
- Curtis, R.; Evans, G.; Kinsman, D. J. J.; Shearman, D. J. 1963. Association of

dolomite and anhydrite in the recent sediments of the Persian Gulf. *Nature* 197: 6779-6800.

Dardir A.A. and Wali A.M.A. (2009) Extraction of Salts from Lake Quaroun, Egypt: Environmental and Economic Impacts. *Global NEST Journal* 11(1): 106-113.

Davis J. 1978. Biological communities of a nutrient enriched salina. *Aquat. Bot.* 4: 23-42.

Davis, J. 1990. Biological management for the nutrient-rich chinese solar saltworks. In: *Proceedings of the International Symposium on Biotechnology of Saltponds*, September 18-21, 1990: 128-132.

Davis, J. 2000. Structure, function, and management of the biological system for seasonal solar saltworks. *Glob. Nest J.* 2(3): 217-226.

Davis, J. 2009. Management of biological systems for continuously operated solar saltworks. *Global NEST Journal* 11(1): 73-78, 2009.

Davis, J.S.; Giordano, M. 1996. Biological and physical events involved in the origin, effects, and control of organic matter in solar saltworks. *Int J Salt Lake Res* 4:335-347.

De Medeiros Rocha, R.; Camara, M.R. 1993. Prediction, monitoring and management of detrimental algal blooms on solar saltworks. In: Salt Institute (ed.), *Proceedings of the 7rd International Symposium on Salt*, April 6 - 9, 1992: 657-660.

De Medeiros Rocha, R.; Costa, D.F.S.; Lucena-Filho, M.A.; Bezerra, R.M.; Medeiros, D.H.M.; Azevedo-Silva, A.M.; Araújo, C.N.; Xavier-Filho, L. 2012. Brazilian solar saltworks – ancient uses and future possibilities. *Aquatic Biosystems* 8.

De Medeiros Rocha, R. Fatores determinantes na estratégia de cultivo de *Asteromonas gracilis* Artari (Chlorophyceae, Dunaliellales). *Tese de doutorado*. Rede Nordeste de Biotecnologia. Universidade Tiradentes, Aracajú-SE, 2011, 165 p.

Demaison, G.J.; Moore, G.T. 1980. Anoxic environments and oil source bed genesis. *Org. Geochem.* 2: 9-31.

Dendooven, L.; Alcántara-Hernández, R.J.; Valenzuela-Encinas, C.; Luna-Guido, M.; Perez-Guevara, F.; Marsch, R. 2010. Dynamics of carbon and nitrogen in an

extreme alkaline saline soil: A review. *Soil Biology and Biochemistry* **42**(6): 865-877.

Derby, I.H.; Victor, I. 1916. The dissociation tensions of certain hydrated chlorides and the vapour pressure of their saturated solutions. *I. Amer. Chem. Soc.* **38**: 1439.

Des Marais, D.J. 1995. The biogeochemistry of hypersaline microbial mats. In: Jones, J.G. (ed) *Advances in microbial ecology*, Vol 14. Plenum Press, New York, p 251–274.

De Groot, R. S.; Wilson, M. A.; Boumans, R. M.J. 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics* **41**: 393–408.

Diamond, J. 2005. *Collapse: how societies choose to fail or succeed*. New York: Viking.

Dodds, W. K. 2006. Eutrophication and trophic state in rivers and streams. *Limnology and Oceanography* **51**: 671-680.

Dolapsakis, N.P.; Tafas, T.; Abatzopoulos, T.J.; Ziller, S.; Economou-Amilli, A. 2005. Abundance and growth response of microalgae at Megalon Embolon solar saltworks in northern Greece: an aquaculture prospect. *J Appl Phycol* **17**: 39–49.

Donadio, C.; Bialecki, A.; Valla, A.; Dufossé, L. 2010. Carotenoid-derived aroma compounds detected and identified in brines and speciality sea salts (fleur de sel), produced in solar salterns from Saint-Armel (France). *Journal of Food Composition and Analysis*, doi:10.1016/j.jfca.2011.03.005

Drira, Z.; Hamza, A.; Bellhasen, M.; Ayadi, H.; Bouaïn, A.; Aleya, L. 2008. Dynamics of dinoflagellates and environmental factors during the summer in the Gulf of Gabes (Tunisia, Eastern Mediterranean Sea). *Scientia Marina* **72**: 59-71.

Duke, N. C.; Ball, M. C.; Ellison, J. C. 1998. Factors influencing in mangroves biodiversity and distributional gradients. *Global Ecology and Biogeography Letters* **7**: 27-47.

Du Laing, G.; Rinklebe, J.; Vandecasteele, B.; Meers, E., Tack, F. M. 2009. Trace metal behaviour in estuarine and riverine floodplain soils and sediments: A review. *Science of The Total Environment* **407**(13): 3972-3985.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA 1999. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília/DF: Centro Nacional de Pesquisas de Solos.

EMBRAPA. 1997. *Manual of methods for soil analysis*. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solo/EMBRAPA. (In Portuguese)

Evangelopoulos, A.; Koutsoubas, D.; Basset, A.; Pinna, M.; Dimitriadis, C.; Sangiorgio, F.; Barbone, E.; Maidanou, M.; Koulouri, P.; Dounas, C. 2008. Spatial and seasonal variability of the macrobenthic fauna in Mediterranean solar saltworks ecosystems. *Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst* **18**:118–134.

Evans, G. 1970. Coastal and nearshore sedimentation: a comparison of clastic and carbonate deposition. *Proceedings of Geological Society of London* **81**: 493-508.

FAO - Food and Agriculture Organization of ONU. 2006. *World Reference Base for Soil Resources*. World Soil Resources Report 103. Rome: FAO.

Feinberg, H. M. 1989. Africans and Europeans in West Africa: Elminans and Dutchmen on the Gold Coast during the eighteenth century. *Transactions of the American philosophical society* **79**, 186 p.

Fernández-Lozano, J.k 1973. Recovery of epsomite and sylvite from seawater bittern by crystallization. In *Proceedings of the Fourth Symposium on Salt*, 8 – 12 April; Houston. Edited by Alan H. Coogan: Open Library; 1973: 501-510.

Ferreira, A. T. S.; Amaro, V. E.; Souza, F. E. S.; Souto, M. V. S.; Silva, D. R. V.; Souza, A. S.; Lima, F. B.; Melo, B. S.; Araújo, A. B. 2005 Interpretação de imagens IKONOS de alta resolução aplicada ao desenvolvimento de mapas temáticos em escala 1:10.000 do Sistema Estuarino Açú-Piranhas e seus entornos no Litoral Setentrional do Rio Grande do Norte. In: Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, *anais...* Goiânia, Brasil, 16-21 abril, INPE, p. 3005-3007.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF ONU - FAO. 2006. *World Reference Base for Soil Resources*. World Soil Resources Report 103, FAO, Rome.

Forbes, A. T.; Cyrus, D. P. 1993. Biological effects of salinity gradient reversals in a southeast African estuarine lake. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology* **27(2-4)**: 483–488. doi:10.1007/BF02334808.

Furtado, I.; Fernades, C.F.E. 2009. Traditional salt Production in Goa India, Enriches Diverse Microbial Resource, In: *Proceedings of the 9th International Symposium on Salt*, Sha Zuoliang (Ed.), Gold Wall Press, Beijing, Vol. A, 781-786.

Gallego, J.L.R.; Ordonez, A.; Loredó, J. 2002. Investigation of trace element

source from an industrialized area (Avilés northern Spain) using multivariate statistical methods. *Environment International* **27**: 589-596.

Galinski, E.A.; Tindall, B.J. 1992. Biotechnological prospects for halophiles and halotolerant microorganisms. In *Molecular biology and biotechnology of extremophiles*. Edited by Herbert RA and Sharp RJ (Eds.). New York: Blackie, Glasgow, 76-114.

Geddes, M. C.; De Deckker, P.; Williams, W. D.; Morton, D. W.; Toffing, M. 1981. On the chemistry and biota of some saline lakes in Western Australia. *Hydrobiologia* **82** 201–222. doi:10.1007/BF00048717.

Gilbert, A. J.; Janssen, R. 1998. Use of environmental functions to communicate the values of a mangrove ecosystem under different management regimes. *Ecological Economics* **25**: 323–346.

Giordano, M.; Beardall J. 2009. Impact of Environmental Conditions on Photosynthesis, Growth and Carbon Allocation Strategies of Hypersaline Species of *Dunaliella*. *Global NEST Journal* **11**(1): 79-85.

Ginzburg, B.Z. 1991. Liquid fuel (oil) from halophilic algae: a renewable source of non-polluting energy. In *General and applied aspects of halophilic microorganisms*. Edited by Rodriguez-Valera F. New York: Plenum Press, 389-395.

Goldman, Y.; Garti, N.; Sasson, Y.; Ginzburg, B.Z.; Bloch, M.R. 1981. Conversion of halophilic algae into extractable oil. 2. Pyrolysis of proteins. *Fuel* **80**: 90-92.

Goltzman, H. L.; Clymo, R. S.; Ohnstad, M. A. M. 1978. *Methods for physical and chemical analysis of freshwaters*. London: Blackweel Sci. Publ., 214 p.

Gouveia, L.; Sousa, J.; Marques, A.; Tavares, C.; Giestas, M. 2009. Solar Pond devices: free energy or bioreactors for *Artemia* biomass production? *J Ind Microbiol Biotechnol* **36**:1035–1045.

Guo, G; Araya, K; Jia, H; Zhang, Z; Ohomiya, K; Matsuda, J. 2006. Improvement of salt-affected soils, part 1: interception of capillarity. *Biosystems Engineering* **94**(1): 139-150.

Fausto Filho, J. 1984. Algumas observações bioecológicas dos moluscos, crustáceos e peixes das áreas de salinas dos municípios de Grossos, Areia Branca e Mossoro no estado do Rio Grande do Norte, Brasil. *Ciê. Agron.* **15**(1/2): 17-131.

- Fernandes, G. M. 1995. *O sal: economia em questão*. Natal: UFRN/CCHLA.
- Filgueiras, C. A. L. 2001. A história da ciência e o objeto de seu estudo: confrontos entre a ciência periférica, a ciência central e a ciência marginal. *Quim. Nova* **24**(5): 709-712.
- Gazit-Yaari, N.; Lazar, B.; Erez, J. 1999. Field evidence for ^{13}C depletion due to atmospheric invasion in hypersaline microbial mats, pp. 109-118 In: Oren, A. (Ed.), *Microbiology and biogeochemistry of hypersaline environments*. CRC Press, Boca Raton.
- Giani, D.; Jannsen, D.; Schostak, V.; Krumbein, W.E. 1989. Methanogenesis in a saltern in the Bretagne (France). *FEMS Microbiol. Ecol.* **62**: 143-150.
- Guerrero, M.C.; Wit, R. 1992. Microbial mats in the inland saline lakes of Spain. *Limnética* **8**: 197-204.
- Hammer, U.T. 1986. *Saline lake ecosystems of the world*. Dr. W. Junk Publishers, Dordrecht: 514-538.
- Hardle, W.; Simar, L. 2007. *Applied Multivariate Statistical Analysis*. 2 ed. Berlin: Springer.
- He, F.J.; MacGregor, G.A. 2009. A Comprehensive review on salt and health and current experience of worldwide salt reduction programmes. *Journal of Human Hypertension* **23**: 363-384.
- Hite, R. J. 1970. Shelf carbonate sedimentation controlled by salinity in the Paradox basin, southeast Utah. *Third Symposium on Salt*, Ron, J.L., Dellwig, L.F. (Eds.). Northern Ohio Geol. Soc.1, 48-66.
- Howe, R. W.; Regal, R. R.; Niemi, G. J.; Danz, N. P.; Hanowski, J. M. 2007. A probability-based indicator of ecological condition. *Ecological Indicators* **7**: 793-806. doi:10.1016/j.ecolind.2006.09.003.
- Huai-ke, W.; Guan-qiang, J. 2009. The Utilization and Environmental Protection of Qinghai Salt Lake Resource, In: *Proceedings of the 9th International Symposium on Salt*, Sha Zuoliang (Ed.), Gold Wall Press, Beijing, Vol. B, 913-916.
- Huesco, K.; Carrasco, J. 2009. Biodiversity of Inland Saltscapes of the Iberian Peninsula. In: Oren, A.; Naftz, D.; Palacios, P.; Wurtsbaugh, W.A. (eds). *Saline Lakes Around the World: unique systems with unique values*. Natural Resources and Environmental Issues, volume XV. S.J. and Jessie E. Quinney Natural

Resources Research Library, Logan, Utah, USA, p. 163 – 171.

Hueso, K.; Carrasco, J. F. 2008a. Opciones de puesta en valor del patrimonio salinero. *Proceedings of the Conference “Historic salt exploitation: research and valuation”*. Sociedad Española de Historia de la Arqueología (SEHA), Ciempozuelos (Spain), 1-2 December 2006 (in press).

Hueso, K.; Carrasco, J. F. 2008b. Inland saltscapes. Values for a sound socioeconomic development. *Proceedings of the International Conference “Inland salinas and salt in History: Economy, environment and society”*. Sigüenza (Spain), 6–9 September 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. 2007. *Mapa do semiárido brasileiro*. Rio de Janeiro: Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão / IBGE.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. 2012. *Manual técnico da vegetação brasileira*. 2 ed. Rio de Janeiro: Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão / IBGE, n.1., 92p.

Jadhav, M.H. 1983. Recovery of Crystalline Magnesium Chloride-Hexahydrate by Solar Evaporation of Sea Bitterns. In *Proceedings of the Sixth International Symposium on Salt*, May 24–28 May 1983; Toronto. Edited by Schreiber BC and Harner HL: Salt Institute, 417-449.

Javor B.J. 1989. Geology and Chemistry. In: Javor B.J. (ed.), *Hypersaline environments - microbiology and biogeochemistry*. Springer-Verlag, pp. 5-25.

Javor B.J. 2002. Industrial microbiology of solar salt production. *J. Ind. Microb. Biot.* 28: 42–47.

Jellison, R. 2003. Conservation of saline lakes in the 21st century. *Proceedings of the Environmental Future of Aquatic Ecosystems*, Conference, Zurich, 23–27 March 2003.

Joint, I.; Henriksen, P.; Garde, K.; Riemann, B. 2002. Primary production, nutrient assimilation and microzooplankton grazing along a hypersaline gradient. *FEMS Microbiol Ecol* **39**: 245–257.

Jones, A.G.; Ewing, C.M.; Melvin, M.V. 1981. Biotechnology of solar saltfields. *J. Hydrob.* **82**: 391-406.

Katinsky, J. R. 1995. Sistemas construtivos coloniais. Notas sobre Mineração no Brasil Colonial. In: VARGAS, M. (Org.). *História da Técnica e da Tecnologia*.

São Paulo: UNESP, 99-101.

Kendall, A.C. 1984. Evaporites. In: Walker, R.G. (ed.). *Facies Models*. 2 ed. Geoscience Canada Reprint Series 1, Toronto, p. 259-296.

Kendall, A.C.; Harwood, G.M. 1996. Marine evaporites: arid shorelines and basins. In: Reading, H.G. (ed). *Sedimentary environments: processes, facies and stratigraphy*. Oxford: Blackwell, p. 281-324.

Khemakhem, H.; Elloumi, J.; Moussa, M.; Aleya, L.; Ayadi, H. 2010. The concept of ecological succession applied to phytoplankton over four consecutive years in five ponds featuring a salinity gradient. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **88**: 33 – 44.

Kristensen, P. 2004a. *The DPSIR framework*. Denmark: National Environmental Research Institute.

Kristensen, P. 2004b. *The DPSIR Framework*. In: Workshop on a comprehensive / detailed assessment of the vulnerability of water resources to environmental change in Africa using river basin approach. September 2004. UNEP Headquarters, Nairobi, Kenya.

Kirkland, D.W.; Evans, R. 1981. Source-rock potential of evaporitic environment. *Am. Assoc. Pet. Geol. Bull.* **65**: 181-190.

Kjerfve, B.; Schettini, C. A. F.; Knoppers, B.; Lessa, G.; Ferreira, H. O. 1996. Hydrology and Salt Balance in a Large, Hypersaline Coastal Lagoon: Lagoa de Araruama, Brazil. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **42**: 701-725.

Korovessis N.A., Lekkas T.D. 2009. Solar saltwork's wetland function. *Global NEST Journal* **11(1)**: 49-57.

Lacerda, L. D. 1993. Trace metals in mangrove plants: why such low concentrations? In: LACERDA, L. D. (ed.) *Mangrove ecosystem studies in Latin America and Africa*. International Society for Mangrove Ecosystem, p. 171-179.

Landry, J.C.; Jaccard, J. 1982. Chimie des eaux libres dans le marais salant de Salin-de-Giraud (Sud de la France). *Géol Mediterr* **9**: 329–348.

Larcher, W. 2002. *Ecofisiologia vegetal*. São Paulo: Rima, 531 p.

Lazar, B.; Erez, J. 1990. Extreme depletions in seawater-derived brines and their implications for the past geochemical carbon cycle. *Geology* **18**: 1191-1194.

- Lazar, B.; Erez, J. 1992. Carbon geochemistry of marine derived brines: I. depletions due to intense photosynthesis. *Geochim. Cosmochim. Acta* **56**: 335-345.
- Lillebø, A. I.; Neto, J. M.; Martins, I.; Verdelhos, T.; Leston, S.; Cardoso, P. G.; Ferreira, S. M.; Marques, J. C.; Pardal, M. A. 2005. Management of a shallow temperate estuary to control eutrophication: the effect of hydrodynamics on the system nutrient loading. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **65**: 697-707.
- Litchfield, C.D. 1991. Red—the magic color for solar salt production. In *Das Salz in der Rechts - und Handelsgeschichte*. Edited by Hocquet JC and Palme R. Schwaz: Berenkamp, p. 403–412.
- Lopes, C. M. B.; Lillebø, A. I.; Dias, J. M.; Pereira, E.; Vale, C.; Duarte, A. C. 2008. Organic carbon fluxes between Ria de Aveiro coastal lagoon and the Atlantic Ocean. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **79**: 751–757.
- López, E.; Aguilera, P.A.; Schmitz, M.F.; Castro, H.; Pineda, F.D. 2010. Selection of ecological indicators for the conservation, management and monitoring of Mediterranean coastal salinas. *Environ. Monit. Assess.* **166** (3): 241-256. DOI 10.1007/s10661-009-0998-2.
- López-Cortés, A.; Ochoa, J.L. 1998. The biological significance of halobacteria on nucleation and sodium chloride crystal growth. In *Adsorption and its applications in industry and environmental protection*. Studies in surface science and catalysis. Volume 120. Edited by Dubrowski A. Amsterdam: Elsevier, p. 903-923.
- Lovelock, C.E.; Ball, M.C.; Martin, K.C.; Feller, I.C. 2009. Nutrient enrichment increases mortality of mangroves. *PLoS ONE* **4**(5): e5600.
- Ma'or, Z.; Simon-Meshulam, G.; Yehudah, S.; Gavrieli, J.A. 2000. Antiwrinkle and skin-moisturizing effects of a mineral-algal-botanical complex. *J. Cosmet. Sci.* **51**: 27-36.
- Mackereth, F. J. H.; Heron, J.; Talling, J. F. 1978. *Water analysis*: some revised methods for limnologists.
- Margalef, R. 1983. *Limnología*. Ed. Omega, Barcelona, p. 871– 918.
- Margalef, R. 1994. *Limnology Now*: a paradigm of planetary problems. Elsevier, Amsterdam.
- Marín, C.; d'Ayala, P. G. 1996. Salines. In Morillo, C.; González J. L. (Eds.), *Management of Mediterranean Wetlands IV*. Madrid: MedWet.

Margesin, R.; Schinner, F. 2001. Biodegradation and bioremediation of hydrocarbons in extreme environments. *Appl Microbiol Biotechnol* **56**: 650–663.

Masero, J. A. 2003. Assessing alternative anthropogenic habitats for conserving waterbirds: Salinas as buffer areas against the impact of natural habitat loss for shorebirds. *Biodiversity and Conservation* **12**, 1157–1173. doi:10.1023/A:1023021320448.

Medeiros Filho, O. 1998. *Os Holandeses na Capitania do Rio Grande*. Natal: Instituto Histórico e Geográfico do Rio Grande do Norte.

Medina, E.; Fonseca, H.; Barboza, F.; Francisco, M. 2001. Natural and man-induced changes in a tidal channel mangrove system under tropical semiarid climate at the entrance of the Maracaibo lake (Western Venezuela). *Wetlands Ecology and Management* **9**: 233-243.

Mees, F.; Singer, A. 2006. Surface crusts on soils/sediments of the southern Aral Sea basin, Uzbekistan. *Geoderma* **136**(1-2): 152-159.

Melo, P.R.C.; Carvalho, R.S.; Pinto, D.C. 2008. Halita. In: CETEM. *Rochas e Minerais Industriais Rochas Minerais Industriais: usos e especificações*. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, p. 551- 584.

Melo, B. S.; Silva, D. R. V.; Souza, A. S.; Lima, F. B.; Ferreira, A. T. S.; Souto, M. V. S.; Araújo, A. B.; Souza, F. E. S.; Amaro, V. E. 2005. Mapeamento do uso e ocupação do solo e unidades geoambientais, na escala de 1:10.000, da região de Guamaré-Galinhos/RN, com base na interpretação de produtos de sensoriamento remoto com alta resolução do sistema IKONOS. In: Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, *Anais...Goiânia, Brasil, 16-21 abril, INPE*, p. 2267-2272.

Mendes, A. M. S.; Fontes, R. L. F.; Oliveira, M. 2008. Variabilidade espacial da textura de dois solos do Deserto Salino, no Estado do Rio Grande do Norte. *Rev. Ciên. Agron.* **39**(1): 19-27.

Miranda, L. B.; Castro, B. M.; Kjerfve, B. 2002. *Princípios de oceanografia física de estuários*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo.

Modassir, Y.; Ansari, A. 2011. Plankton Community of the Hypersaline Salterns of Goa, India. *Biological Forum - An International Journal*, **3**(1): 78-81.

Montanari, T. 2006. *Subsídios para um modelo socioeconômico de Pressão-Estado-Resposta (P/E/R) para sensibilidade litorânea ao derramamento de óleo*. Monografia. ITAJAÍ: Universidade do Vale do Itajaí.

- Montgomery, D. R. 2007. *Dirt: the erosion of civilisations*. Berkeley: U. California Press.
- Moosvi, S.J. 2006. Ecological importance of solar saltworks. In: *Proceedings of the 1st International Conference on the Ecological Importance of Solar Saltworks (CEISSA 06)*, Santorini Island, Greece, 20-22 October.
- Moreira, E.G.S.; Demattê, J.L.I.; Marconi, A. 1989. Caracterização e gênese de Solonetz solodizado do sertão central e do médio Jaguaribe - Estado do Ceará. *An. ESALQ* **46(2)**: 319-341.
- Morais, M.C.C. 1998. *Terras Potiguares*. Natal (RN): Dinâmica Editora.
- Moura, G. 2003. *Um Rio Grande e Macau*. Natal (RN): G. Moura.
- Muehe, D. (ed.). 2005. *Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente.
- Neves, R. 2005. Os salgados portugueses no séc. XX: que perspectivas para as salinas portuguesas no séc. XXI? In: I Seminário Internacional sobre o sal português. *Anais...*Instituto de História Moderna da Universidade do Porto, , p. 127-134.
- Nimer, E. 1989. *Climatologia do Brasil*. 2 ed. IBGE, Rio de Janeiro, 422 p.
- OCDE. ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT. 1993. Organization for economic cooperation and development: core set of indicators for environmental performance reviews; a synthesis report by the group on the state of the environment. Paris: OCDE.
- Oliveira, A. A. B.; Mendes, I. A. 2004. A abordagem sistêmica na construção de indicadores de sustentabilidade para a gestão de bacias hidrográficas. In: *IV Seminário de Pós-Graduação em Geografia da UNESP*, Anais... de Rio Claro, 21 p.
- Oren, A.; Sørensen, K.B.; Canfield, D.E., Teske, AP., Ionescu, D., Lipski, A.; Altendorf, K. 2009 Microbial communities and processes within a hypersaline gypsum crust in a saltern evaporation pond (Eilat, Israel). *Hydrobiologia* **626**:15–26.
- Oren, A. 2009. Saltern evaporation ponds as model systems for the study of primary production processes under hypersaline conditions. *Aquat. Microb. Ecol.* **56**: 193–204.

- Oren, A. 2003. *Halophilic microorganisms and their environments*. Springer-Verlag, Berlin.
- Oren, A. 2002. Solar salterns. In: Oren, A. Halophilic microorganisms and their environments cellular origin - *Life in extreme habitats and astrobiology* **5(3)**: 441-469.
- Oren, A. 2002. Biotechnological applications and potentials of halophilic microorganism. In: Oren, A. Halophilic microorganisms and their environments cellular origin - *Life in extreme habitats and astrobiology* **5(3)**: 357-388.
- Oren, A. 2001. The bioenergetic basis for the decrease in metabolic diversity in increasing salt concentrations: implications for the functioning of salt lake ecosystems. *Hydrobiologia* **466**:61–72
- Oren, A. 2000. Salts and brines. In: Whitton BA, Potts M (eds) *Ecology of Cyanobacteria: their diversity in time and space*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, p. 281–306.
- Oren, A. 1999. Bioenergetic aspects of halophilism. *Microbiol Mol Biol Rev* **63**:334–348
- Ortega, M.; Velasco, J.; Millán, A.; Guerrero, C. 2004. An ecological integrity index for litoral wetlands in agricultural catchments of semiaridMediterranean regions. *Environmental Management* **33(3)**: 412–430. doi:10.1007/s00267-003-3059-6.
- Oren, A. 2002. Solar salterns. In: Oren, A. Halophilic microorganisms and their environments cellular origin - *Life in extreme habitats and astrobiology* **5(3)**: 441-469. DOI: 10.1007/0-306-48053-0_16
- Ortiz-Milan, S.M. 2009b. Project of Recovery the Biological Conditions of the Production System in Saltworks of Industria Salinera de Yucatan S.A. de C.V. (ISYSA) Damaged by the Hurricane Isidore in September of 2002, *Global NEST Journal* **11(1)**: 91-95.
- Paiva Filho, F. C. 1987. *Uma análise da dualidade do mercado produtor salineiro do Rio Grande do Norte*. Natal: UFRN.
- Pavlova, P.; Markova, K.; Tanev, S.; Davis, J.S. 1998. Observations on a solar saltworks near Burgas, Bulgaria. *Int. J. Salt Lake Res.* **7**: 357-368.
- Pedrós-Alió, C. 2004. Trophic ecology of solar salterns. In: Ventosa, A. (ed.) *Halophilic Microorganisms*. Springer-Verlag, Berlin, p. 33 - 48.

Pedrós-Alió, C.; Calderón-Paz, J. I.; Maclean, M. H.; Medina, G.; Marrasé, C.; Gasol, J. M.; Guixa-Boixereu, N. 2000. The microbial food web along salinity gradients. *FEMS Microbiol Ecol* **32**: 143–155.

Pedrosa Silva, S. L. 2001. Uma análise da indústria salineira do Rio Grande do Norte baseada no modelo de estratégia competitiva de Porter. *Dissertação de mestrado*. Universidade Federal de Santa Catarina-UFSC, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Florianópolis, 176 p.

Pearce, F.; Crivelli, A.J. 1994. *Characteristics of Mediterranean wetlands*. MedWet, Tour du Valat: 54–65.

Perez-Hurtado, A.; Hortas, F.; Ruiz, F.; Solis, F. 1993. Importancia de la Bahía de Cadiz para las poblaciones de limícolas invernantes e influencia de las transformaciones humanas. *Ardeola* **40**:133–142.

Ponnuchamy, K.; Rahaman, A. A.; Ezzo, S. Sedimentology of Indian Solar Saltworks. In: *Proceedings of the 1st International Conference on the Ecological Importance of Solar Saltworks (CEISSA 06)*, Santorini Island, Greece, 20-22 October 2006, 229 – 234.

Possingham, H. P.; Andelman, S. J.; Noon, B. R.; Trombulak, S.; Pulliam, H. R. 2001. Making smart conservation decisions. In M. E. Soulé; Orians, G.H. (Eds.), *Conservation biology: Research priorities for the next decade* (pp. 225–244). Washington: Island.

Rahaman, A.A., Venkat, R., Patel, D.K.; Patel, K.K. 2009b. Environmental Impact Assessment of Crystalline Saltworks, Gongoni Malindi district, Kenya, In: *Proceedings of the 9th International Symposium on Salt*, Sha Zuoliang (Ed.), Gold Wall Press, Beijing, Vol. B, 1122-1128.

Rahaman, A.A.; Ambikadevi, M.; Sosamma-Ezzo. 1993. Biological management of Indian solar saltworks. *7th Symp on Salt* **1**:633–643.

Ramos e Silva, C. A. 2004. Caracterização física, físico-química e química dos estuários Apodi, Conchas, Cavalos, Açú, Guamaré, Galinhos, Ceará-Mirim, Potengi, Papeba e Guaraíra. *Relatório final*. Natal/RN: Instituto de Desenvolvimento Econômico e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte/IDEMA, 50 p.

Ramsar. 2008. *Ramsar sites information service*, <http://www.wetlands.org/rsis/>. Acessado em 13 de outubro de 2012.

RIO GRANDE DO NORTE. 2003. Assembléia Legislativa. Lei Nº 8.299, de 29 de janeiro de 2003. *Dispõe sobre formas de escoamento do sal marinho produzido no Rio Grande do Norte e dá outras providências*. Natal, Secretaria de Informática.

Ridd, P.V.; Stieglitz, T. 2002. Dry season salinity changes in arid estuaries fringed by mangroves and saltflats. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **54**: 1039–1049.

Rocha, R. M. (Coord.) 2005. *Cadastro das atividades salineiras e de carcinicultura no estuário do rio Apodi/Mossoró (RN)*. Natal/RN: Instituto de Defesa do Meio Ambiente do Rio Grande do Norte / Fundação para o Desenvolvimento Sustentável das Terras Potiguares.

Rocha, A. P. B. 2005. Expansão urbana de Mossoró/RN (período de 1980 a 2004): geografia, dinâmica e reestruturação do território. *Dissertação de mestrado em Geografia*. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN.

Roux, J.M. 1996. Production of polysaccharide slime by microbial mats in the hypersaline environment of a Western Australian solar saltfield. *Int J Salt Lake Res* **5**:103–130.

Rodríguez-Valera, F. 1988. Characteristics and microbial ecology of hypersaline environments. In: Rodríguez-Valera F, *Halophilic Bacteria*, Vol. I. CRC Press, Boca Raton, p 3-30.

Sadoul, N.; Walmsley, J. Charpentier, B. 1998. *Salinas and nature conservation*. MedWet, Tour du Valat: 71– 82.

Sammy, N. 1983. Biological systems in northwestern Australian solar salt fields. *6th Int Symp on Salt* **1**: 207–215.

Santos, M. 1991. *A natureza do espaço*. São Paulo: Cortez.

Santos, M. 1988. *Metamorfoses do espaço habitado* – fundamentos teóricos e metodológicos da Geografia. São Paulo, HUCITEC.

Santos, P. P. 2010. *Evolução econômica do Rio Grande do Norte (Século XVI a XXI)*. 3 ed. Natal (RN): Departamento Estadual de Imprensa.

Schaeffer-Novelli, Y. 2005. *Grupo de ecossistemas: manguezal, marisma e apicum* - principais vetores de pressão e as perspectivas para sua conservação e usos sustentável. Brasília/DF: Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis – IBAMA.

Schreiber, B.C. 1986. Arid shorelines and evaporites. In Reading, H.G. (ed.), *Sedimentary environments and facies* (pp.189-228). 2 ed. Oxford: Blackwell Scientific Publishers.

Schuyt, K.; Brander, L. 2004. *Living Waters: The Economic Values of the World's Wetlands*. WWF, Gland/Amsterdam.

Segal, R. D.; Waite, A. M.; Hamilton, D. P. 2009. Nutrient limitation of phytoplankton in solar salt ponds in Shark Bay, Western Australia. *Hydrobiologia* **626**: 97–109.

Shumilin, E.; Grajeda-Muñoz, M.; Silverberg, N.; Sapozhnikov, D. 2002. Observations on trace element hypersaline geochemistry in surficial deposits of evaporation ponds of Exportadora de Sal, Guerrero Negro, Baja California Sur, Mexico. *Marine Chemistry* **79**: 133– 153.

SIESAL. Sindicato da Indústria da Extração do Sal no Estado do Rio Grande do Norte. 2010. *Atas das assembleias ordinárias*. Mossoró-RN.

Silva, A. M. A.; Barbosa, J. E. L.; Medeiros, P. R.; Rocha, R. M.; Lucena Filho, M. A.; Costa, D. F. S. 2009. Zooplankton (Cladocera and Rotifera) variations along a horizontal salinity gradient and during two seasons (dry and rainy) in a tropical inverse estuary (Northeast Brazil). *Pan-American Journal of Aquatic Sciences* **4**(2): 226-238.

Silva, M. M.; Schreiber, B. C.; Santos, C. L. 2000. Evaporites as mineral resources. *Rev. Bras. Geof.* **18**(3): 338-350.

Silveira, M. L. 1999. Uma situação geográfica: do método à metodologia, *Revista Território* **6**: 21 – 28.

Skinner, J.; Zalewski, S. 1995. *Functions and values of Mediterranean wetlands*. MedWet, Tour du Valat: 24–35.

Sousa, F. C. O. 2007. A cidade e os homens das salinas. In: XXIV Simpósio Nacional de História, Associação Nacional de História – ANPUH, *anais...* São Paulo, 17 e 22 de julho.

Sousa, M. M. L. 1988. A política econômica salineira e o Rio Grande do Norte: 1965-1974. 108 f. 1988. *Dissertação* (Mestrado em História). Pontifícia Universidade Católica. Departamento de História. São Paulo.

Souto, F. J. B.; Watanabe, T.; Rocha, R. M.; Barbosa, J. E. L.; 2000. Distribuição espaço-temporal da comunidade fitoplantônica e variáveis hidrológicas em uma

salina artesanal do estado do Rio Grande do Norte, Brasil. *Revista Nordestina de Biologia* **15**(2): 7-26.

Statsoft. 2001. *Statistica for Window* - Computer programa manual. Versão 8.0 Tulsa, Statsoft Inc.

Stein, E. D.; Ambrose, R. F. 1998. A rapid impact assessment method for use in a regulatory context. *Wetlands* **18**: 379–392.

Suguio, K. 1973. *Introdução à sedimentologia*. São Paulo, E. Blücher, 317 p.

Takekawa, J.Y.; Miles, A.K.; Schoellhamer D.H. et al. 2006. Trophic structure and avian communities across a salinity gradient in evaporation ponds of the San Francisco Bay estuary. *Hydrobiologia* **567**: 307–327.

Tomlinson, P.B. 1986. *The botany of mangroves*. Cambridge: Cambridge University Press. 413 p.

Trindade, S. L. T.; Albuquerque, G. J. 2005. *Subsídios para o Estudo da história do Rio Grande do Norte*. 2 ed. Natal (RN): Sebo Vermelho.

UnB - UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA; PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS - PUCMinas; PNUD. 2004. *Sustentabilidade ambiental – objetivo 7: garantir a sustentabilidade ambiental*. Belo Horizonte: PUC Minas/IDHS.

Van Bellen, H. M. 2006. *Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa*. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas.

Van Bellen, H. M. 2004. Sustainable development: presenting the main measurement methods. *Environment and Society* **7**(1): 67-87.

Van Stappen, G. 2002. Zoogeography. In: *Biology of Aquatic Organisms*. Artemia: Basic and Applied Biology (ed. by Th.J. Abatzopoulos, J.A. Beardmore, J.S. Clegg and P. Sorgeloos), pp. 171–224. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.

Velasquez, C.R.; Hockey, P.A.R. 1991. The importance of supratidal foraging habitats for waders at a south temperate estuary. *Ardea* **80**:243–253.

Viñals, M. 2002. (coord.) *Wetland cultural heritage*. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid: 157–208.

- Viñals, M.J.; Morant, M.; Alonso-Monasterio, P.; Sánchez, M. 2005. *Progress in the incorporation of cultural values in the effective management of Mediterranean wetlands*. SEHUMED / Universidad de València, Valencia.
- Vita, S.; Luna, F. J.; Teixeira, S. 2007. Descrições de técnicas da química na produção de bens de acordo com os relatos dos naturalistas viajantes no Brasil colonial e imperial. *Quim. Nova* **30**(5): 1381-1386.
- Vital, H. (Coord.). 2005. Rio Grande do Norte. In: Muehe D (ed.). *Erosão e progradação do litoral brasileiro*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, p.159-176.
- Wieland, A.; Zopfi, J.; Benthien, M.; Köhl, M. 2005. Biogeochemistry of an iron-rich hypersaline microbial mat (Camargue, France). *Microb Ecol* **49**: 34–49.
- Williams, W.D. 1986. Limnology, the study of inland waters: A comment on perceptions of studies of salt lakes, past and present. In: Deckker, P.; Williams, W.D. (ed) *Limnology in Australia*. Junk Publishers, Dordrecht, The Netherlands: 471–484.
- Williams, W.D. 1993. Conservation of salt lakes. *Hydrobiologia* **267**: 291–306.
- Williams, W.D. 1998. *Management of Inland Saline Waters*. In International Lake Environment Committee/UNEP (ed) Guidelines of Lake Management, vol. 6.
- Williams, W.D. 2002. Environmental threats to salt lakes and the likely status of inland saline ecosystems in 2025. *Environmental Conservation* **29**: 154–167.
- Zacharias, M.A.; Roff, J.C. 2001. Use of focal species in marine conservation and management: A review and critique. *Aquatic Conservation: Marine & Freshwater Ecosystems* **11**:59–76.
- Zeno, C. 2009. The Ecological Importance of the Margherita Di Savoia Saltworks. *Global NEST Journal* **11**(1): 1-9.
- Zhang, T.; Zeng, S.L.; Gao, Y.; Ouyang, Z.T.; Li, B.; Fang, C.M.; Zhao, B. 2011. Assessing impact of land uses on land salinization in the Yellow River Delta, China using an integrated and spatial statistical model. *Land Use Policy* **28**(4): 857-866.
- Zmora, O.; Avital, E.; Gordin, H. 2002. Results of an attempt for mass production of *Artemia* in extensive ponds. *Aquaculture* **213**: 395–400.